

PROGRAMME DE RECHERCHE "ECOSYSTEMES TROPICAUX"

Rapport d'activité intermédiaire

1^{ère} partie (2 pages maximum)

Date : le 18 juillet 2008

Intitulé du projet : « Forêts de failles et forêts galeries au sud du Mali : deux voies pour la pérennité des refuges guinéens en zone soudanienne »

Responsable(s) coordonnées complètes

Laurent GRANJON
UR 022 CBGP-Bel Air
IRD, BP 1386,
Dakar CP 18524
Sénégal
Tel : (+221) 33 849 36 50
Fax : (+221) 33 832 16 75
E-mail : granjon@ird.fr

Philippe BIRNBAUM – CIRAD, UMR
AMAP
TA-A51/PS2, Boulevard de la Lironde
34398 Montpellier cedex 5
France
Tél : (+33) (0)4.67.61.75.83
Fax : (+33) (0)4.67.61.56.68
E-mail : philippe.birnbaum@cirad.fr

Participants au projet

Philippe Birnbaum (Cirad, Montpellier), Patrick Blanc (CNRS, Paris), Marie-Hélène Chevallier (Cirad, La Réunion), Jean-François Cosson (INRA, Montpellier), Jean-Marc Duplantier (IRD, Montpellier), Chris Duvall (Université du Wisconsin, Madison), Jakob Fahr (Université d'Ulm, Allemagne), Jacques Florence (MNHN, Paris), Pierre-Michel Forget (MNHN, Paris), Denis Gautier (Cirad, Montpellier), Laurent Gazull (Cirad, Montpellier), Laurent Granjon (IRD, Dakar, Sénégal), Emilie Lecompte (Université Paul Sabatier, Toulouse), Bourama Niagaté (DNCN, Bamako, Mali), Jean-François Trébuchon (Cirad, Montpellier).

Une participante (Ute Böttcher, GTZ, Bamako, Mali) est sortie du projet après sa mutation (du Mali en Allemagne), une autre (Natalie Weber, rattachée à l'Université d'Ulm, Allemagne) l'a intégré et a participé activement aux volets « inventaires mammalogiques » et « interactions homme-forêt »

Rappel succinct des objectifs

L'hypothèse générale testée dans le cadre de ce projet est la suivante : **La durabilité de l'écosystème fragmenté représenté par le réseau de forêts de failles et forêts-galeries du sud Mali est conditionnée 1) par le maintien de la structure et de la dynamique de chaque îlot (diversité biologique et interactions écologiques) et 2) par le maintien des relations entre les îlots et avec la forêt guinéenne actuelle (flux d'individus et de gènes)** en répondant aux questions suivantes :

- Quelle est l'extension de ces zones forestières d'affinités guinéennes dans le sud du Mali, région appartenant globalement à la zone bio-climatique soudanienne ?
- Quelles sont les caractéristiques actuelles (richesse, diversité, composition...) des communautés d'arbres et de petits Mammifères (terrestres et volants) de ces îlots forestiers ?
- Quelle est l'histoire des communautés animales et végétales de ces îlots forestiers, et celle de leur relations avec la zone forestière des pays du golfe de Guinée au cours du Quaternaire ?
- Quel est le rôle de l'homme dans le maintien, l'expansion, la dégradation ou la fragmentation de ces communautés végétales et animales ?
- A partir des résultats obtenus, quelles recommandations peuvent être faites en vue d'une gestion durable de ces refuges ?

Résumé de l'état d'avancement

Le projet a démarré concrètement en décembre 2006. Il regroupe 16 chercheurs de disciplines diverses (télédétection et cartographie, botanique, mammalogie, génétique, valorisation) et se focalise sur 4 grandes régions du Mali réparties au nord/ouest (Bafing, Monts Mandingues) et au sud/est (Baoulé, Sikasso). Cette première phase a été consacrée à la réalisation des missions de terrain dans les quatre régions du projet et nous regroupons dans ce rapport préliminaire la compilation des premiers résultats enregistrés dans chacune des disciplines. Certaines difficultés d'ordre général dont le retard de disponibilité des fonds, le désistement de plusieurs membres de l'équipe originelle ou l'intégration d'un nouveau chercheur ont quelque peu perturbé le déroulement initialement prévu. Le présent rapport compile ainsi les premiers résultats fournis par 11 des participants au projet.

La cartographie des failles et des galeries forestières a été réalisée en utilisant des images datées de 2003 obtenues par le satellite Landsat 7 ETM+ couplées au MNE SRTM90. Les premiers résultats se présentent sous forme de couches d'informations numériques intégrables à la base de données SIG constituée pour ce projet. Les résultats obtenus permettent de calculer, à l'échelle du pays ou de la région administrative, les surfaces et les longueurs de ces îlots forestiers (failles et galeries) ainsi que la connectivité de ces réseaux qui se révèle maximale dans la forêt de Farako (région de Sikasso).

Par ailleurs, toutes les analyses des communautés convergent pour regrouper les zones selon leur topographie avec d'un côté la prédominance des falaises gréseuses dans le bloc nord/ouest qui constitue des extensions vers le nord du plateau du Fouta Djallon en Guinée présentant une diversité maximale des habitats et de l'autre côté la dominance des forêts galeries dans le bloc sud/est, qui constitue une extension nord des forêts humides sempervirentes du massif guinéo-congolais. Ainsi dans le bloc sud, l'espèce de rongeur *Praomys rostratus*, caractéristique des milieux forestiers humides, est dominante ainsi que certaines chauves-souris (*Hypsignathus monstrosus*, *Rhinolophus alcyone*, *Hipposideros cyclops*, *Kerivoula lanosa*, *Mimetillus moloneyi*) typiquement connues des habitats forestiers. Dans ces milieux, la flore ligneuse est moins diversifiée du fait de la faible variabilité des habitats et composée principalement par des espèces ripicoles que l'on rencontre par ailleurs le long des fleuves de la forêt dense humide guinéo-congolaise. Dans le bloc ouest, la communauté des chauves-souris est essentiellement marquée par la prédominance des espèces inféodées aux grottes et aux milieux de failles connues exclusivement des régions montagneuses situées entre la Guinée, la Sierra Leone et le Libéria. La communauté des rongeurs est dominée par l'espèce *Praomys daltoni* caractéristique du milieu des failles. Sur l'ensemble de ces inventaires on enregistre à ce jour, pour le Mali, plus de 30 espèces nouvelles de chauve-souris et près de 20 espèces nouvelles de ligneux pour les seuls taxons actuellement identifiées au rang spécifique. Les analyses de diversité génétique corroborent cette distinction géographique. La diversité génétique chez *Praomys rostratus* se structure avec d'un côté le bloc nord/ouest (Bafing, Monts Mandingues) et de l'autre la région de Sikasso tandis que la zone du Baoulé représente un mélange génétique entre ces deux groupes. Chez les chauves-souris on distingue chez l'espèce *Hipposideros ruber*, deux clades relativement bien soutenus, un associant la majorité des régions du sud Mali à la Guinée et l'autre associant l'extrême sud-est du Mali (région de Sikasso) aux forêts du Burkina, le contact entre ces deux clades se situant dans la région de Sikasso. Pour les arbres (*Carapa procera*), une différenciation faible mais significative (2%) permet de distinguer les populations du bloc nord/ouest de celles du bloc sud/est. Cette ségrégation géographique pourrait être liée à la divergence des communautés et des populations lors du dernier maximum glaciaire, dans les refuges forestiers identifiées d'un côté dans les montagnes de Guinée et de l'autre dans le massif forestier plus à l'est, le long de la côte du Golfe de Guinée.

Enfin ce projet s'est associé avec deux ONG installées au Mali, Helvetas (Suisse) et Mobiom (Mali) qui sont en charge de développer la filière du coton biologique en Afrique de l'Ouest. Notre modèle d'arbre, le *Carapa procera* étant à la fois un indicateur des zones de forêts humides et un constituant majeur de l'insecticide naturel dédié à la culture de ce coton, nous avons établi une synergie d'action pour permettre à la fois aux paysans de bénéficier d'un revenu supplémentaire issu des ressources locales et de l'autre qu'ils favorisent en conséquence la protection des forêts de *Carapa* pour assurer la pérennité de ce marché. Ce message est extrêmement bien perçu par les paysans qui comprennent aisément ce double intérêt.

2^{de} partie

ÉTAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX

L'état d'avancement des travaux est présenté en suivant l'ordre des actions de recherche proposées dans le projet, à savoir :

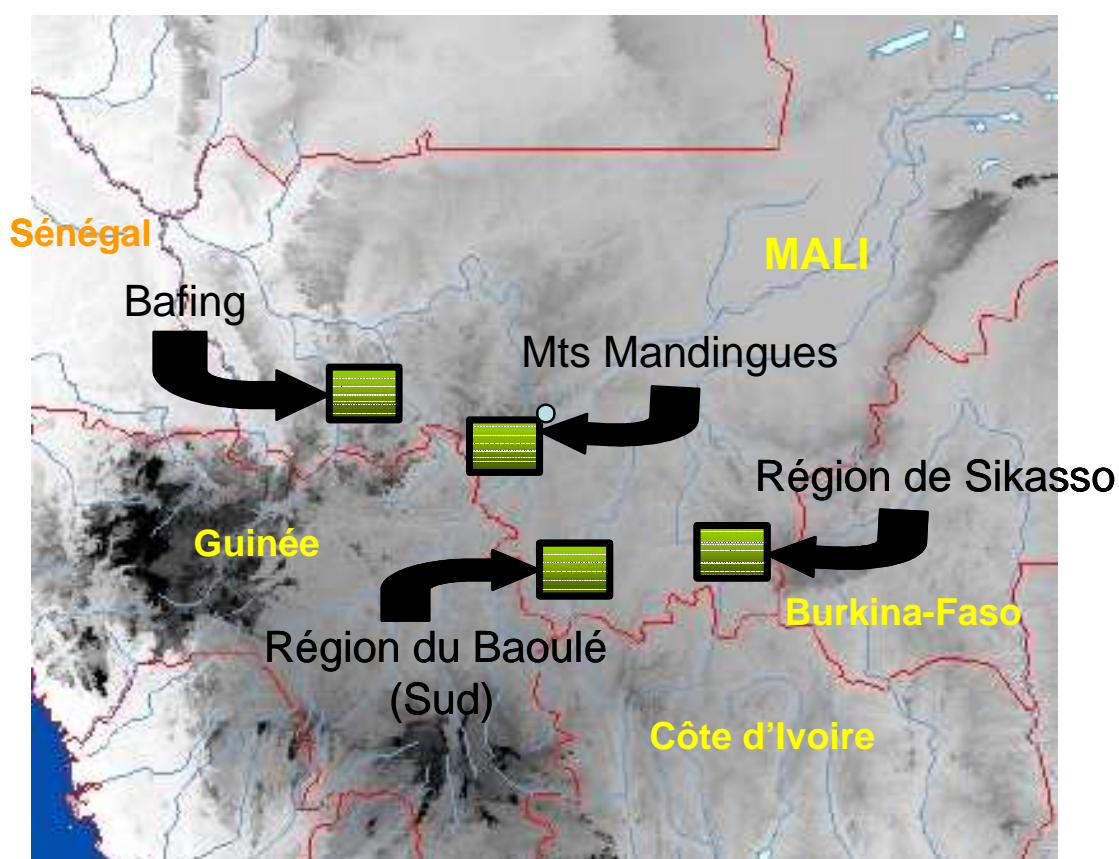
1. Cartographie par satellite haute résolution pour mettre en évidence la distinction entre les secteurs guinéens à feuillage sempervirent et les secteurs soudaniens à feuillage caduc, dans le but de permettre une identification exhaustive des aires forestières à affinités guinéennes, leur classement dans une des deux catégories identifiées (galeries ou failles) et la quantification des paramètres géographiques potentiellement significatifs dans les analyses ultérieures (surface, isolement, type d'habitat environnant, en particulier en terme d'utilisation par l'homme...).
2. Analyse des parcours, des voies de dispersion et de transferts, des barrières écologiques et géographiques et classification des sites selon l'abondance relative des espèces d'arbres zoochores, hydrochores, anémochores et autochores, afin d'élaborer un modèle théorique pour la caractérisation des voies possibles du transfert d'information entre les différents sites mais également des obstacles qui inhibent ou ralentissent les échanges.
3. Etude des pressions d'origine anthropique affectant ces écosystèmes, estimation de la durabilité de ces derniers vis-à-vis de ces pressions et évaluation des perceptions qu'ont les groupes stratégiques intéressés par la gestion de ces îlots, en complément de l'étude précédente, en vue de localiser les barrières anthropiques qui freinent ou interdisent les échanges entre les différents sites.
4. Echantillonnages botaniques et mammalogiques sur des stations représentatives de chaque site, et croisement des informations avec la cartographie des milieux, devant aboutir à la constitution d'inventaires aussi exhaustifs que possibles des arbres et des petits mammifères terrestres et volants des sites retenus ainsi qu'à la mise en évidence des paramètres explicatifs de la diversité observée dans ces groupes.
5. Etude génétique de quelques espèces-cibles (animales et végétales), à partir du séquençage de gènes à évolution relativement rapide, avec analyses phylogéographiques régionales et de génétique des populations considérées, afin de montrer la trace génétique de possibles isollements répétés au cours des périodes glaciaires du Quaternaire sur les populations fragmentées par rapport aux populations supposées "sources" (bloc forestier guinéen) et entre les populations fragmentées, ainsi que l'impact de divers facteurs sur les caractéristiques génétiques de ces dernières.
6. Identification d'interactions plantes-animaux (régimes alimentaires, stockage et dissémination par les animaux, usages actuels et historiques par l'homme) susceptibles d'assurer la pérennité de ces systèmes écologiques isolés, et d'assurer d'éventuels échanges entre eux, en vue de comparer les modalités selon lesquelles, humains, rongeurs et chiroptères frugivores, participent localement à la dispersion et à la régénération forestière.
7. Valorisation, par retour d'information vers les populations concernées, via la production de documents simples, la sensibilisation orale par l'intermédiaire des autorités locales, administratives ou traditionnelles, voire la création de sentiers éco-touristiques ou botaniques dans certains sites où la protection de l'environnement pourra être garantie.

Le point 3 n'ayant pas fourni de résultats jusqu'à présent, il n'apparaît donc pas dans la nomenclature du plan ci-dessous (cf. § difficultés rencontrées et perspectives)

Les milieux étudiés par le programme Medd-Ecofor sont répartis au Sud du Mali dans les quatre régions représentées dans la figure 1 :

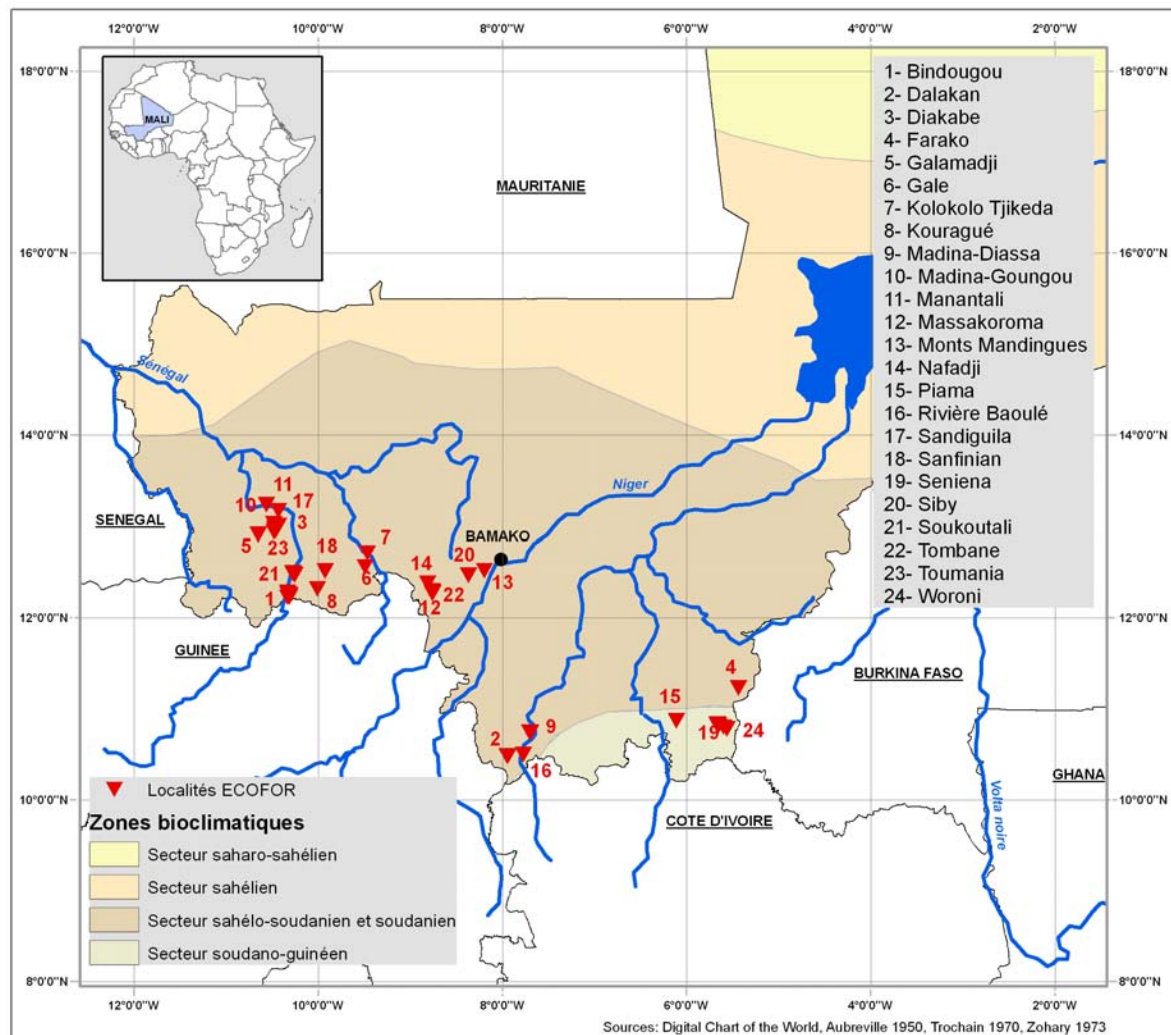
1. La région de Sikasso au Sud à proximité de la frontière avec la Côte d'Ivoire et le Burkina Faso.
2. La région du Baoulé Sud à proximité des frontières de la Guinée et de la Côte d'Ivoire.
3. La réserve du Bafing, à l'Ouest, à proximité de la Guinée et du Sénégal.
4. La zone des Monts Mandingues, à l'Ouest de Bamako, dans la continuité du massif gréseux formé par le Fouta Djallon en Guinée.

Figure 1. Grandes régions d'étude



L'ensemble des travaux présentés ci-dessous ont été réalisés dans un certain nombre de sites du sud Mali (figure 2), appartenant aux 4 régions précédemment définies.

Figure 2. Carte des sites du projet Medd-Ecofor



ASPECTS METHODOLOGIQUES

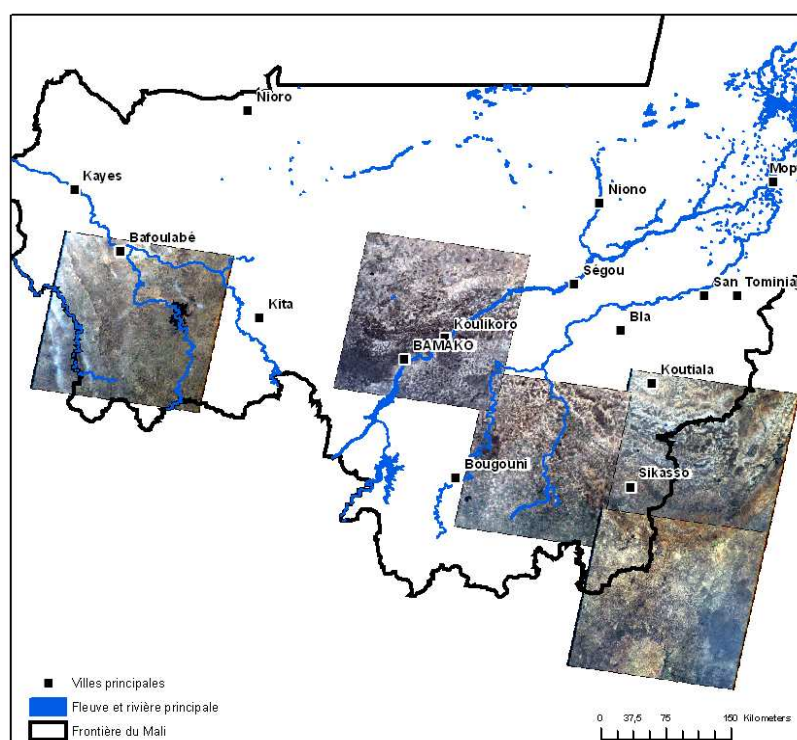
1 et 2. Méthodes pour les analyses cartographiques

Cinq images satellites Landsat 7 ETM+ (tableau 1), couvrant les différents sites d'étude (figure 3), ont été acquises.

Tableau 1. Liste des images acquises pour le projet Medd-Ecofor (satellite Landsat 7 ETM+)

Site d'étude	Date prise de vue	Path and Row	ID scène
Farako	8 février 2003	197-052	LE7197052000303950
Mts Mandingues	10 mars 2003	199-051	LE7199051000306950
Bafing	4 février 2003	201-051	LE7201051000303550
Woroni - Sèniéna	8 février 2003	197-053	LE71970532003039EDC00
Piama	3 mars 2003	198-052	LE71980522003062EDC00

Figure 3. Carte de localisation des images au Mali



Une première partie des traitements a été opérée sur les sites d'étude des Monts Mandingues, ainsi que de Farako, Woroni-Séniéna, et Piama (région de Sikasso). Ces traitements consistent à transformer les valeurs de compte numérique de chaque canal en valeur de réflectance, valeur physique mesurée par les radiomètres.

Dans la première étape de traitement du site d'étude de Farako, la scène a été ortho rectifiée (ou géocodée) sur la base d'un modèle numérique d'élévation (MNE). Ce traitement concernant qu'une petite partie de l'image entière a permis d'accroître la géolocalisation de chaque pixel, par rapport au matériel de positionnement GPS (Global Positionning System) utilisé pendant les relevés terrain (GPS Garmin 76). Ce traitement est basé sur le MNE Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) d'une résolution spatiale de 90m, moins importante que celle du satellite (12,5m). Il nécessite quelques points GPS relevés sur le terrain, délimitant le périmètre de la zone d'étude. Ce traitement a amélioré la précision du positionnement d'environ deux pixels Landsat, sur le site de Farako. Par contre, ce traitement reste sans effet sur une zone où il n'y a pas les points encadrant la zone d'étude. De ce

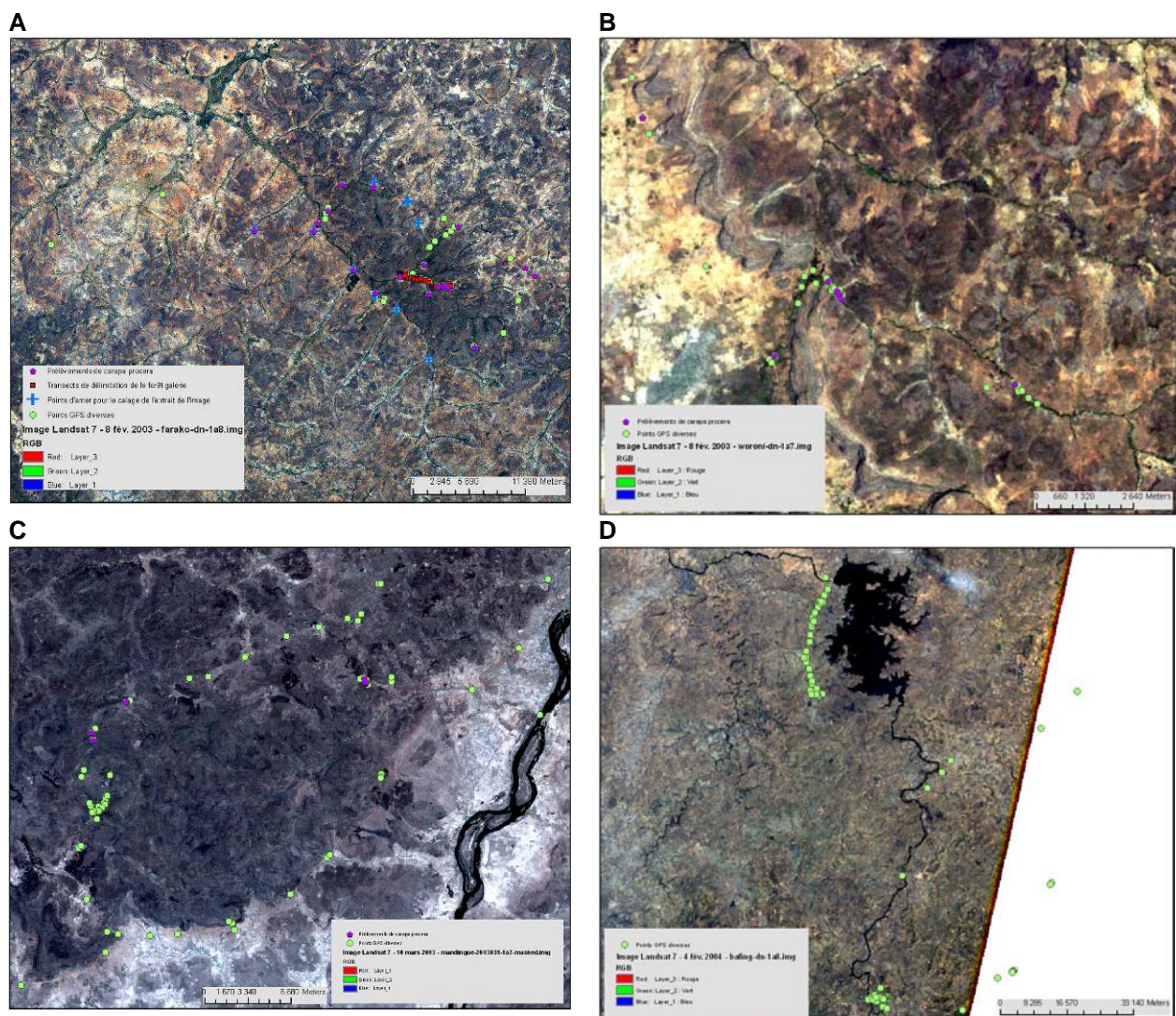
fait, le traitement n'a pas été appliqué à l'image entière car il n'a pas été possible de réaliser une mission terrain de l'ampleur de chaque image (170km x 170km de superficie) pour faire ces relevés GPS.

Deux visites de terrain ont été réalisées en compagnie des chercheurs du projet : 15 jours en mai 2007 et 15 jours en novembre 2007. La première a permis de visiter les sites de Farako, Woroni, Madina Diassa et des Monts Mandingue. La seconde s'est déroulée sur les Monts Mandingues et le massif du Bafing sur les terrains de Solo, Bindougou, Toumania, Kouragué et Sanfinian.

Sur le terrain, les prélèvements ont consisté à (figure 4) :

- prendre des points GPS dans les lieux où étaient prélevés les rongeurs;
- prendre des points sur les lieux de prélèvements de feuille de *Carapa procera*, marqueur des zones forestières humides;
- faire des transects pour délimiter la rupture du cordon rivulaire de la forêt galerie;
- délimiter le périmètre du cordon rivulaire de forêt galerie.

Figure 4. Carte de la distribution des relevés de terrain (A. Site Farako, B. Site de Woroni, C. Site des Monts Mandingues, D. Site du Bafing)

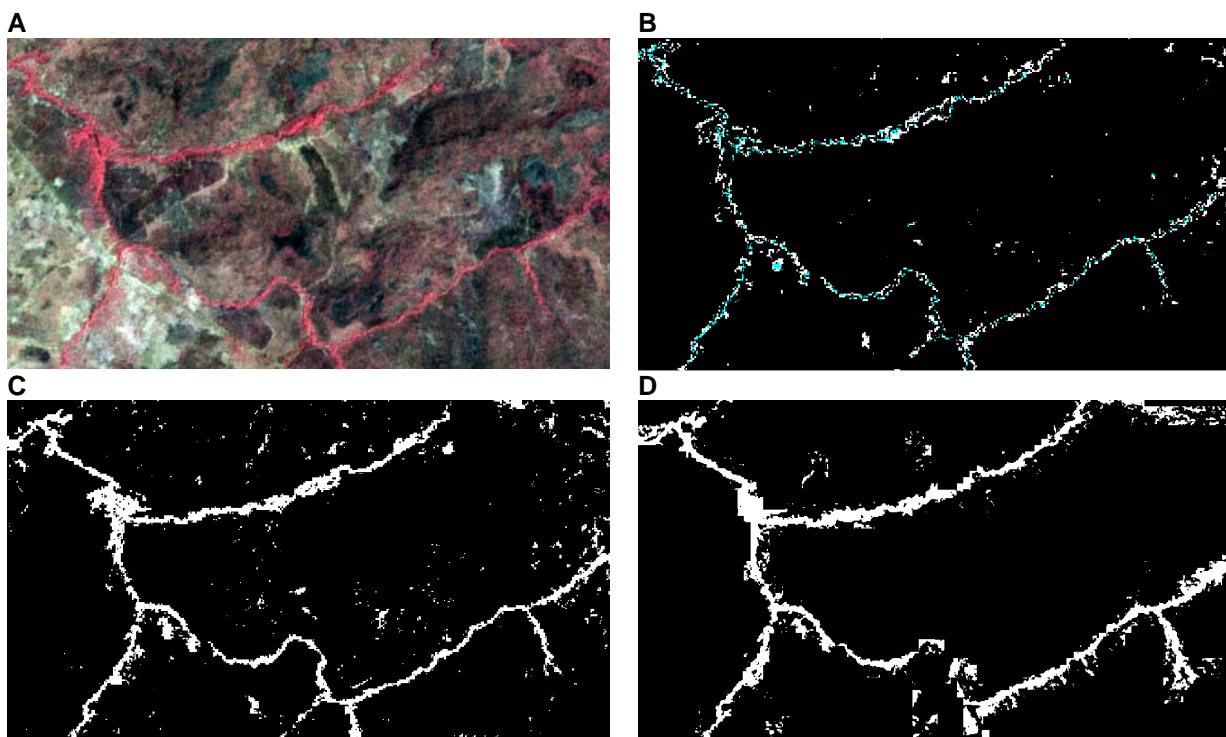


Des calculs d'indices ont alors été réalisés afin de mettre en évidence la forêt galerie. Le but est d'évaluer celui, ceux ou la combinaison de ceux qui affinent la délimitation de ces formations végétales. La première partie d'étude, sur le site de Farako, a permis la mise en œuvre des indices

suivants : NDVI (Normalized Difference Vegetation Index- Rouse et al. 1973. Tucker 1979). PVI (Indice Perpendiculaire de végétation - Richardson & Wiegand 1977) NDWI (Normalised Difference Water Index, Gao. 1996), IBS (indice de brillance des sols), IBSC (indice de brillance des sols classique), EVI (Enhance Vegetation Index - Huete 1997) et ACP (analyse en composante principale) – (figure 5). Ensuite des tests de classifications automatiques, supervisées et non supervisées, ont été réalisés sur la base d'informations de terrain et d'interprétations de l'image, à l'aide de cartes de végétations existantes (Cirad-PIRL 1988, Schneider 1996).

Finalement, après application de ces indices et classifications à l'échelle d'une scène entière, l'indice NDWI ($NDWI = [NIR - SWIR] / [NIR + SWIR]$) s'avère le plus approprié pour délimiter les forêts galeries, permettant de mettre en évidence la végétation ayant un contenu en eau important.

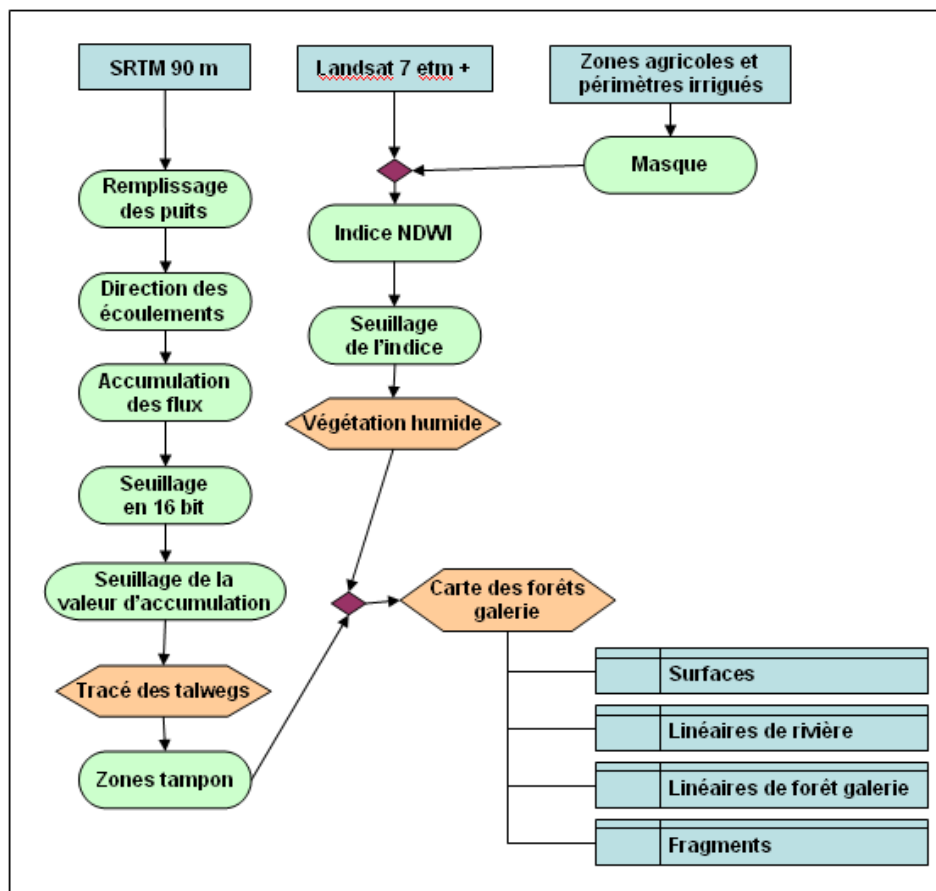
Figure 5. Exemple de résultats obtenus avec deux indices comparés visuellement à l'image multibandes d'origine. (A. Image multibandes de Farako, en rouge intense le rayonnement proche infra-rouge en relation directe à l'activité de photosynthèse de la végétation. B. Image d'indices seuillés en blanc le PVI, en bleu le complément apporté par le NDVI. C. Image après analyse en composante principale et seuillage de la composante. D. Image de l'indice NDWI issue du seuillage basé sur les relevés de terrain et croisé avec la proximité de la rivière dérivée du modèle numérique d'élévation du SRTM)



A partir de là, la méthode retenue pour la mise en évidence des cordons de la galerie forestière est basée sur la délimitation des cours d'eau à partir des données du modèle numérique d'élévation produit par le SRTM à la résolution de 90m et la signature NDWI sur les images Landsat ETM+ avec la définition des seuils apportée par les mesures de terrain.

La première étape est d'extraire le tracé des cours d'eau suivant des algorithmes, définissant les directions d'écoulement et les zones d'accumulation des eaux de ruissellement dans un bassin versant, utilisés en hydrologie. La seconde étape est le calcul de l'indice NDWI et le seuillage de cet indice pour mettre en évidence la forêt de type galerie. La troisième étape est la définition d'une zone tampon autour des zones axes d'écoulement pour collecter uniquement la végétation proche des cours d'eau. La quatrième étape croise les deux informations (zone tampon et forêt humide-NDWI) pour obtenir la forêt galerie (figure 6).

Figure 6. Organisation de la cartographie des forêts galeries



4. Méthodes pour les échantillonnages

4.1 Rongeurs

Les résultats présentés ici sur les rongeurs intègrent les données récoltées lors de 5 missions organisées depuis le début du programme en décembre 2006 sur les sites du sud Mali retenus pour faire l'objet des recherches prévues dans le cadre du projet, mais également celles obtenues en amont de ce programme lors de prospections préliminaires réalisées dans le cadre des programmes de recherche de L. Granjon au Mali. A la date de juin 2008, les régions en question (cf figure 1) ont donc été échantillonnées comme suit :

- Bafing : mai 2001, février 2004, mai 2007 et février 2008
- Monts Mandingues : mai 2001, février 2004, mai 2007 et février 2008
- Baoulé-sud : janvier 2005, mai 2007 et février 2008
- Sikasso : janvier 2005, décembre 2006, mai 2007 et février 2008

A l'occasion de ces missions, un important effort de piégeage a été consenti afin de déterminer la composition des communautés de petits mammifères terrestres, rongeurs essentiellement, dans les sites choisis. Sur ces sites, les forêts de faille et galeries forestières cibles de notre projet ont été échantillonnées prioritairement, mais les habitats flanquant ces milieux forestiers ont également été visités, afin d'avoir une idée globale des peuplements de chaque zone.

Le piégeage a été réalisé à l'aide de différents modèles de pièges prenant les animaux vivants (figure 7). La plupart des animaux ont été autopsiés, soit sur le terrain immédiatement après leur

capture, soit au laboratoire à l'IRD de Bamako à l'occasion de leur caryotypage. Lors de l'autopsie, les informations suivantes étaient notées :

- Poids (g) et mensurations (mm) : Longueur Tête+Corps (LTC), longueur Queue (LQ), longueur Oreille (Or) et longueur Pied (Pp)
- Informations sur l'état reproducteur : apparence des mamelles (saillantes ou non, lactantes ou non), présence de cicatrices placentaires ou d'embryons chez les femelles, développement de la vésicule séminale, position (scrotales ou abdominales) et longueur des testicules chez les mâles.

Figure 7. Piège grillagé à socle en bois (fabriqué localement), posé au sol, et piège Sherman (© Tallahassee, FL., USA), posé sur une branche



Des prélèvements en éthanol 90% ont été systématiquement réalisés en vue des analyses génétiques (organes internes, pieds ou phalanges), et les tubes digestifs d'un certain nombre de spécimens des genres *Mastomys* et *Praomys* ont également été conservés (en éthanol 70%), en vue d'études parasitologiques (helminthes) ultérieures. Les caryotypes d'un certain nombre de spécimens ont également été réalisés, le plus souvent à partir de la moelle osseuse. Ces analyses génétiques et cytogénétiques ont d'une part permis la détermination non ambiguë de nombreux spécimens appartenant à des groupes d'espèces jumelles (genres *Mastomys*, *Arvicanthis*, *Lemniscomys*, *Gerbilliscus*, *Mus*...), et d'autre part ont nourri diverses études, en relation directe (*Praomys*) ou non (*Mastomys*, *Lemniscomys*, *Acomys*, *Mus*...) avec le présent programme. Les spécimens collectés ont été conservés en formol, et ont été/seront préparés (peaux + crânes) par les techniciens du laboratoire de mammalogie de l'IRD de Bamako formés aux techniques de la taxidermie (Doukary Abdoulaye et Ilias Ag Aboumahamad en particulier)

4.2. Chauves-souris

La majorité du travail de terrain a été conduit par N. Weber, L. Granjon et l'équipe de mammalogie de l'IRD de Bamako, en particulier D. Abdoulaye. Nous avons utilisé des filets de 6m et 12m (Vohwinkel, Germany: 2,8m de hauteur, 5 poches, 16mm de maille) essentiellement au niveau du sol, en suivant les protocoles standard. Pour maximiser le succès de capture, les filets étaient placés de façon opportuniste en travers de voies de passage présumées en forêts ou savane, ou sur des rivières ou autres pièces d'eau. De 1 à 6 filets par sites ont été mis en service pendant un total de 80 nuits. Ils étaient ouverts avant le coucher du soleil, vérifiés au moins une fois par demi-heure, et refermés à des heures différentes, en fonction du nombre de captures, mais généralement avant minuit. Par ailleurs, nous avons utilisé un piège-harpe à 4 rangées de fil (soit 4m² de surface de capture, fabrication Université d'Ulm) pendant 185,6 heures. Pendant la journée, nous avons également occasionnellement capturé quelques chauves-souris au filet dans des grottes accessibles utilisées comme gîtes diurnes.

Les spécimens capturés étaient maintenus individuellement dans des sachets de tissu avant d'être mesurés (masse corporelle, longueur de l'avant-bras, de la queue, de tête+corps, de l'oreille, du pied, du tibia). Ces mesures étaient prises avec un peson à ressort Pesola (10g, 30g, 100g ou 300g, et un pied à coulisse (Mahr 16 U) avec une précision de 0,1mm. Le sexe, l'âge et l'état

reproducteur étaient notés. L'identification sur le terrain suivait Rosevear (1965) et Hayman & Hill (1971). Quelques spécimens de référence ont été conservés en éthanol 70%, pour vérifier leur détermination et/ou documenter la présence de certaines espèces rares. Ces spécimens sont déposés dans les collections de l'Université d'Ulm. Les autres ont été relâchés après examen. De plus, des tissus ont été préservés en éthanol 95% pour études génétiques (organes internes pour les individus prélevés, fragments de patagium pour les individus relâchés).

Les cris d'écholocation des Rhinolophidés et Hipposidéridés tenus en main ont été enregistrés grâce à un détecteur de chauve-souris de type Pettersson D240x, en mode d'expansion 10x ou 20x. La composante "fréquence constante" (FC) de ces cris est en effet très spécifique de l'espèce dans ces deux familles de chauve-souris. Ces cris étaient transférés vers un magnétophone portable de type Sony Walkman Professional WM-D6C, puis analysés grâce au logiciel BatSound (Version 1.3.1). La FC d'amplitude maximale a été mesurée à l'aide d'un spectrogramme (fenêtre Hanning, taille FFT 512) pour décrire les cris d'écholocation et aider à l'identification de taxons problématiques.

Ces échantillonnages ont porté sur les quatre régions définies dans le cadre du projet Medd-Ecofor (cf. figure 1)

4.3. Botanique

Les inventaires botaniques intègrent des données récoltées lors des missions organisées depuis le début du programme en décembre 2006 dans les 4 régions retenues dans le cadre de ce programme de recherche (cf. figure 1) mais également ceux effectués en amont de ce programme dans le cadre des prospections de recherche réalisées par Ph. Birnbaum et Chris Duvall au Mali. Les différents points de l'inventaire sont illustrés sur la figure 8.

Par région, les échantillonnages se répartissent ainsi :

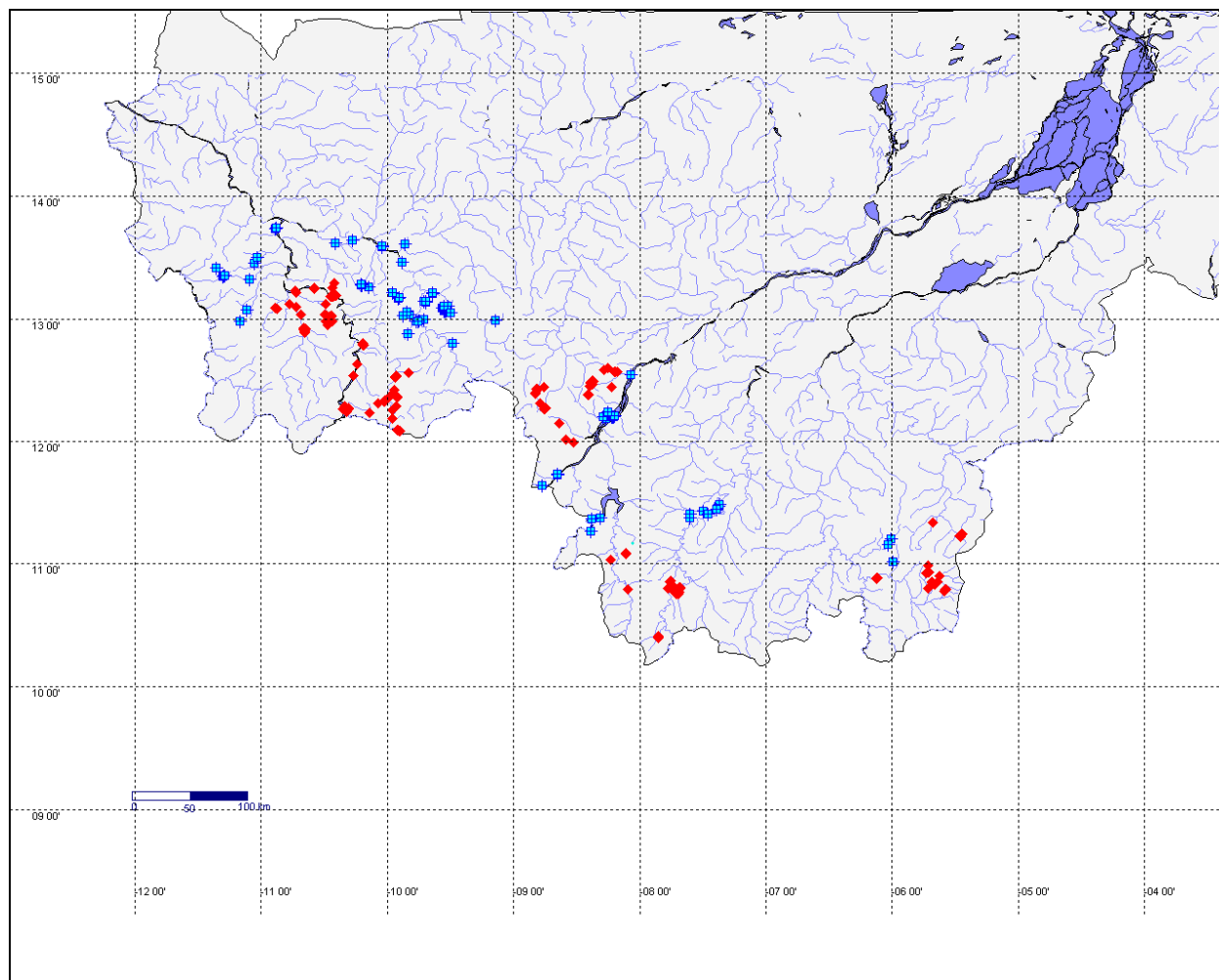
- Bafing : janvier 2004, juin 2004, février 2005, janvier 2006, février 2007, novembre 2007
- Monts Mandingues : mai 2003, décembre 2003, janvier 2004, octobre 2005, juin 2008
- Baoulé-sud : avril 2002, novembre 2003, avril 2004, novembre 2005, avril 2006, mai 2007, juin 2008
- Sikasso : mars 2003, janvier 2005, décembre 2006

La méthodologie d'inventaire repose sur la notion de présence/absence, couplée à une fréquence estimée et discrétisée selon 5 classes. Les classes retenues sont :

- Unique (1 pied dans la zone d'inventaire)
- Rare (< 5 pieds dans la zone d'inventaire)
- Régulier (>5 pieds isolés et régulièrement dispersés dans la zone d'inventaire)
- Tache (>5 pieds regroupés sous la forme d'un patch)
- Dominante (Espèce la plus abondante de la zone d'inventaire)

La zone d'inventaire est définie de part et d'autres du centre du lit principal de la zone d'écoulement sans excéder 10m au-delà de la dernière rupture de pente. Les relevés sont effectués par une succession de points d'observation régulièrement espacés tous les 50m environ. A chaque point, toutes les espèces de ligneux rencontrés sont notés, un point GPS est enregistré et les échantillons sont prélevés si nécessaire. La longueur totale du relevé est dépendante de la longueur du milieu forestier et de l'accessibilité de la zone mais également de la répétition des espèces rencontrées. Dès lors que 5 points de relevés successifs ne révèlent plus aucune nouvelle espèce pour la zone, l'inventaire est interrompu, considérant que la diversité est enregistrée.

Figure 8. Localisation des inventaires botaniques (en rouge: projet Medd-Ecofor)



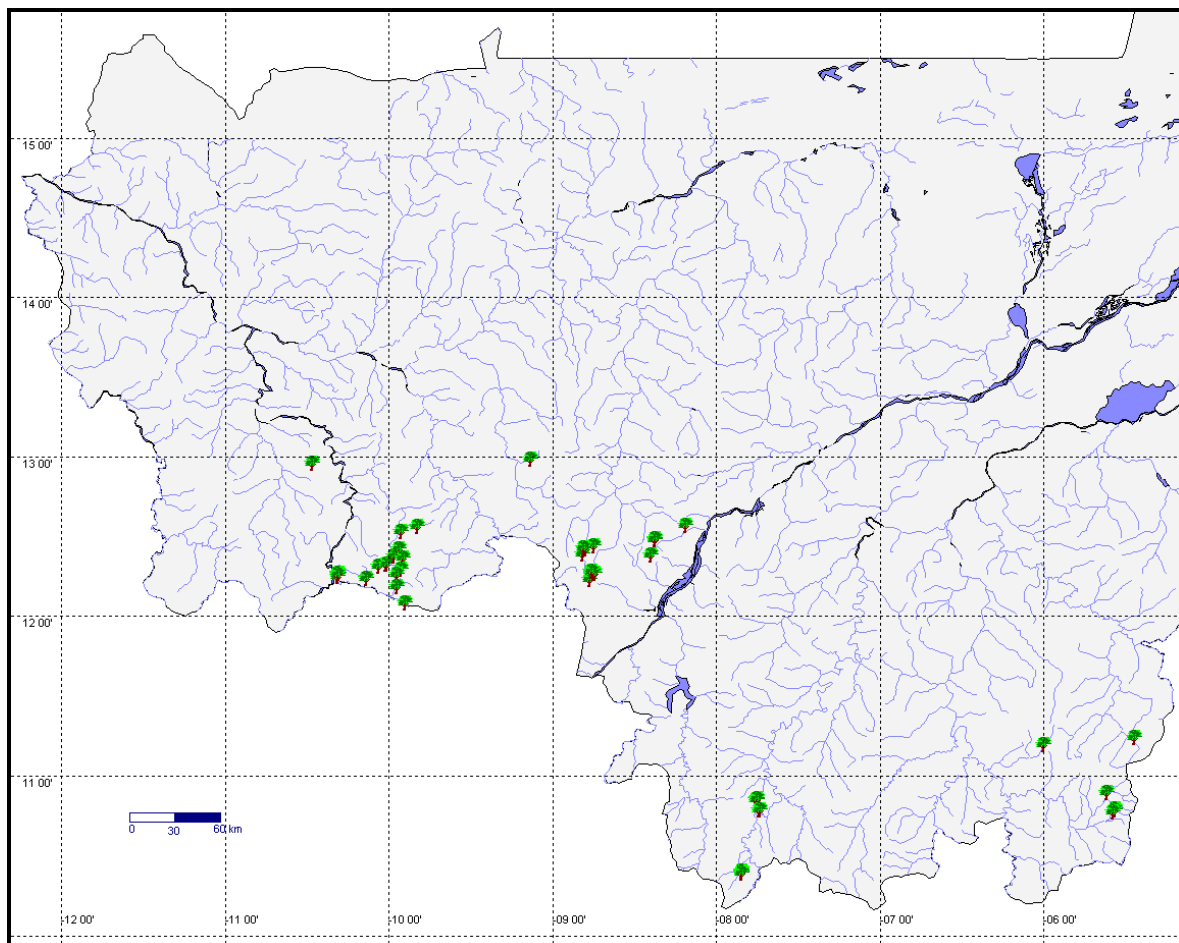
Par ailleurs, les espèces ligneuses qui jouxtent la zone d'inventaire et qui appartiennent à la savane avoisinante située en dehors du complexe des failles/galeries forestières, sont notées sans évaluation de leur abondance. Elles sont utilisées pour définir à la fois le niveau d'interconnexion et parallèlement d'extraire les flores spécifiques de chacun de ces milieux juxtaposés.

Toutes les espèces ont été identifiées par rapprochement avec un ou plusieurs échantillons d'herbiers réunis dans une collection de près de 800 numéros en cours de montage qui seront déposés au MNHN, à l'herbier de Montpellier, à l'herbier de l'IFAN de Dakar et aux taxonomistes spécialistes des différentes familles. Une collection de 6200 photos numérique haute définition a été réalisée uniquement pour les espèces tandis que près de 1000 photos permettent de caractériser les milieux. Les identifications ont été réalisées en utilisant différentes flores de la région (Hutchinson & Dalziel, 1954-1958; Berhaut, 1967 ; Geerling, 1983 ; Boudet et *al.*, 1986 ; Hawthorne, 1990 ; Hawthorne & Jongkind, 2006) ainsi que les échantillons consultés au MNHN de Paris. Les noms de taxons sont conformes au référentiel établi pour l'Afrique par J.-P. Lebrun & A. L. Stork (1991-1997).

Enfin dans chaque inventaire nous avons récolté plus spécifiquement des échantillons de feuilles du *Carapa procera* afin de fournir du matériel pour les analyses génétiques effectuées sur cette espèce modèle. Les différents points d'échantillonnage sont illustrés sur la figure 9 et le protocole de collecte est détaillé ci-dessous :

- Nature de l'échantillon : limbe de folioles fraîches (20 à 50 cm²) ou fine tranche de cambium (1 à 5 cm²). Des feuilles vertes tombées au sol peuvent aussi convenir si elles proviennent toutes du bon individu. Nettoyer les feuilles âgées couvertes d'algues. Des fruits (prélever 1 échantillon sur l'arbre-mère) et/ou des plantules (prélever des échantillons sur l'arbre ou les arbres les plus proches) peuvent également être récoltés.
- Séchage : placer l'échantillon dans un filtre à café, lui-même inséré dans un sachet plastique à fermeture hermétique et contenant 2-3 cuillères à café de silicagel. La nervure centrale des feuilles peut être arrachée pour faciliter le séchage. Le séchage de feuilles se fait généralement en 2-3 jours. Rajouter du silicagel si nécessaire. Si vous n'avez pas de silicagel, faire sécher les feuilles de *Carapa* entre plusieurs feuilles de papier journal comme pour un herbier à maintenir dans un endroit sec (salle climatisée). Il est également possible de faire sécher les feuilles dans une étuve à 40°C.
- Informations à noter: date de la collecte, nom de la localité, longitude, latitude, altitude (si possible données GPS), type d'habitat, nature de l'échantillon (feuille fraîche, feuille au sol, cambium, fruit, graine, plantule) et s'il y a lieu, références d'un échantillon d'herbier.
- Nombre d'échantillons : par localité, la collecte de 5 individus est un minimum souhaitable mais la collecte d'un plus grand nombre (jusqu'à 30 individus séparés par au moins 50m) permet des analyses de génétique des populations.

Figure 9. Carte de distribution observée des *Carapa procera*



5. Méthodes génétiques

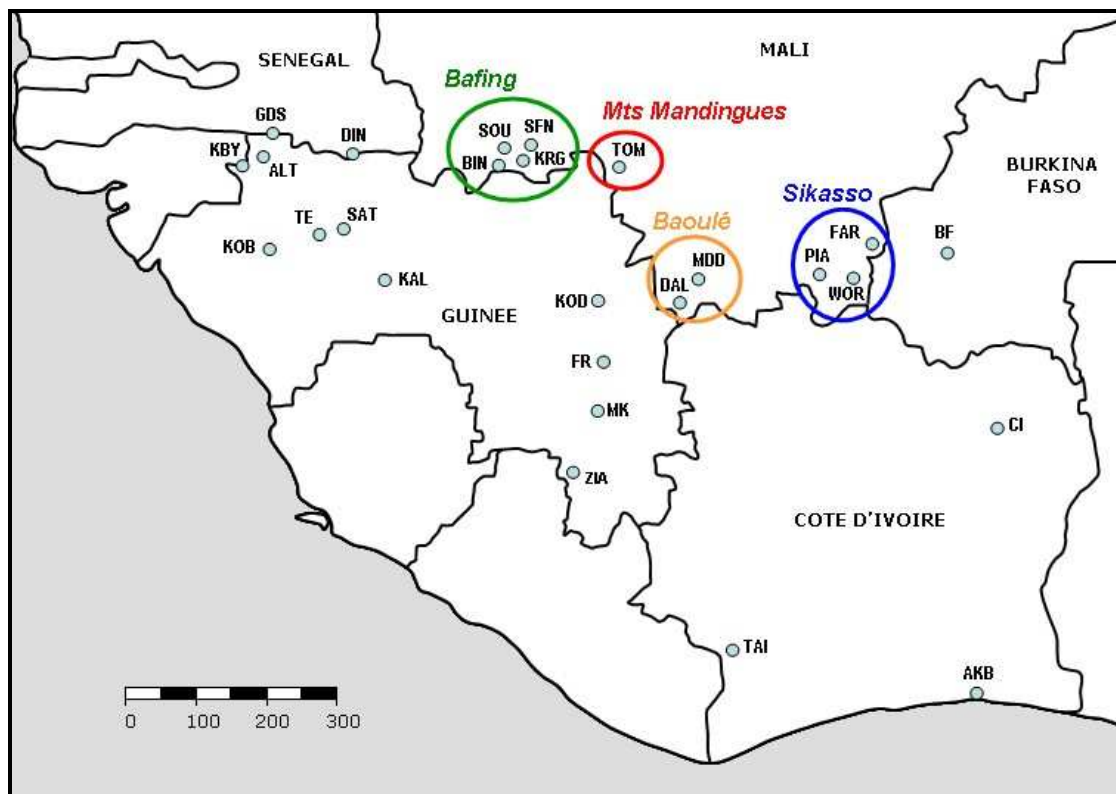
Des analyses génétiques ont été conduites sur trois modèles différents :

1. Une espèce de Rongeur (*Praomys rostratus*)
2. Plusieurs espèces de chauve-souris (des genres *Hipposideros* et *Epomophorus* en particulier)
3. Une espèce d'arbre (*Carapa procera*).

5.1 *Praomys rostratus*

Les échantillons collectés dans les quatre régions d'intérêt du Sud Mali (cf. figure 1), mais aussi de localités proches (sud-est Sénégal, sud-ouest Burkina-Faso, est Côte d'Ivoire), ainsi que de localités plus au sud où la forêt est moins fragmentée (Guinée, sud Côte d'Ivoire) ont été analysés (figure 10).

Figure 10. Situation géographique des populations de *Praomys rostratus* étudiées en génétique au Mali et dans les pays limitrophes (les codes des populations renvoient au tableau 2)



L'étude génétique a été conduite sur 348 spécimens issus de 28 localités réparties au Mali, au Sénégal, en Guinée, en Côte d'Ivoire et au Burkina-Faso. Entre 3 et 25 spécimens ont été étudiés par population (tableau 2). Les spécimens ont été génotypés pour 14 marqueurs microsatellites développés pour *Mastomys huberti*, appartenant à un genre proche de *Praomys* (Loiseau et al., 2007).

Il est apparu un problème d'allèles nuls pour certains de ces marqueurs (échec d'amplification : génotype non identifiable) dû à la divergence entre *P. rostratus* et l'espèce pour laquelle les marqueurs ont été mis au point, mais aussi de l'étendue de l'aire de distribution étudiée. De ce fait, seuls 9 marqueurs (dont la fréquence des allèles nuls a été estimée à moins de 10% par population) ont été utilisés pour les analyses génétiques, de manière à ne pas observer de biais liés à cette caractéristique.

L'étude génétique porte sur deux points complémentaires : la diversité génétique et la structuration de cette diversité. La première étape consiste à vérifier si la diversité (nombre d'allèles, hétérozygotie) dans les fragments du Sud Mali est importante et comparable à la diversité des régions non fragmentées. La deuxième étude consiste à voir comment se structure cette diversité, en lien avec l'isolement des populations dans les fragments, ou si la diversité se structure selon d'autres critères, comme l'histoire de la mise en place de ces populations dans la région.

L'effectif de certaines populations étant faible (cf. tableau 2), les analyses de diversité génétiques ont été conduites sur les populations dont l'effectif est supérieur à 9 spécimens. En revanche, toutes les populations ont été utilisées pour les études de structuration géographiques, ces analyses ne dépendant pas de l'effectif étudié.

Tableau 2. Origines géographiques et effectifs des échantillons de *Praomys rostratus* étudiées en génétique

Code	Localité	Pays	Régions	Effectif
BIN	Bindougou	Mali	Bafing	13
KRG	Kouragué	Mali	Bafing	3
SFN	Sanfinian	Mali	Bafing	11
SOU	Soukoutali	Mali	Bafing	6
DAL	Dalakan + Baoulé	Mali	Baoulé	3
MDD	Madina-Diassa	Mali	Baoulé	13
FAR	Farako + Mamouroubougou	Mali	Sikasso	19
PIA	Piama	Mali	Sikasso	14
WOR	Woroni+Seniena	Mali	Sikasso	13
TOM1	Tombané (2001-2002)	Mali	Mts Mandingue	13
TOM2	Tombané (2004)	Mali	Mts Mandingue	16
TOM3	Tombané + Nafadji (2007)	Mali	Mts Mandingue	10
BF	Koumi	Burkina Faso		14
AKB	Adiopodoumé	Côte d'Ivoire		16
CI	Comoé (P.N.)	Côte d'Ivoire		9
TAI	Taï	Côte d'Ivoire		24
ALT	Altou Fonkola	Guinée		11
FR	Franfina	Guinée		6
KAL	Kalia	Guinée		5
KBY	Koumbanyi	Guinée		11
KOB	Koba+Tamba Sako+Kogon Lengue	Guinée		11
KOD	Kodoko	Guinée		16
MK	Maikou	Guinée		25
SAT	Satina	Guinée		15
TE	Téliré	Guinée		9
ZIA	Balassou	Guinée		24
DIN	Dindéfelo	Sénégal		13
GDS	Gué de Sambaillo	Sénégal		5
TOTAL				348

5.2. Chauves-souris

Les séquences des gènes mitochondriaux du cytochrome b et de la D-loop ont été obtenues pour 56 spécimens de Rhinolophoidea (genres *Rhinolophus* et *Hipposideros*) et de Pteropodidae (*Epomophorus gambianus*), et analysés avec un certain nombre de séquences de Genbank pour d'une part vérifier la position phylogénétique des spécimens d'Afrique de l'Ouest étudiés, et d'autre part réaliser une étude phylogénétique des espèces *Hipposideros ruber* et *Epomophorus gambianus* à l'échelle du sud Mali et des régions avoisinantes (Chollet 2008). Pour cette dernière, 14 individus de *H. ruber* et 20 individus d'*E. gambianus* ont été étudiés (tableau 3).

Les reconstructions phylogénétiques ont été effectuées selon les méthodes probabilistes de maximum de vraisemblance et de l'approche Bayésienne. Ces deux méthodes ont également été utilisées pour déterminer les relations intra-spécifiques, en plus du maximum de parcimonie

(MP). La mesure du degré de variabilité génétique a été estimée par le nombre d'haplotypes, le nombre de sites polymorphes ainsi que la diversité haplotypique et la diversité nucléotidique. L'histoire démographique de *H. ruber* et d'*E. gambianus*, ainsi que le test de l'hypothèse d'une augmentation récente de la taille de population à partir d'une population fondatrice ayant une faible diversité, ont été effectués grâce au test statistique D_s (Tajima, 1989), à la statistique F_s (Fu, 1997) et à l'analyse de «mismatch distributions» des différentes substitutions entre paires d'haplotypes en paramétrant un modèle de «croissance-déclin». Dans cette approche, une distribution multimodale indique une stabilité démographique, alors qu'un changement brusque d'effectif génère un patron unimodal (Slatkin et Hudson, 1991).

Tableau 3. Echantillons de chauve-souris étudiés en génétique (analyse phylogéographique)

Espèce	Individus	Localité	Pays
<i>Epomophorus gambianus</i>	bal11	Galamadji	Mali
	sen5	Sénina	Mali
	NW609	Bantakouloumba	Mali
	NW619	Simakourouma	Mali
	NW532	Manatali	Mali
	NW658	Kolokolo Tjikeoda	Mali
	NW645	Sanfinian	Mali
	NW292	Woroni	Mali
	pia15	Piama	Mali
	pia16	Piama	Mali
	bin39	Bindougou	Mali
	wor3	Woroni	Mali
	NW729	Farako	Mali
	NW837	Nafadji	Mali
	NW244	Yambering	Guinée
	tsn14	Toussiana	Burkina Faso
	dou28	Dounonso	Burkina Faso
	kor49	Koro	Burkina Faso
	kor10	Dafra	Burkina Faso
	krm19	Kourouma	Burkina Faso
<i>Hipposideros ruber</i>	NW631	Simakourouma	Mali
	NW644	Sanfinian	Mali
	NW277	Woroni	Mali
	dik10	Diakabé	Mali
	NW431	Famansa	Mali
	pia11	Piama	Mali
	NW371	Madina Diassa	Mali
	NW689	Woroni	Mali
	NW548	Guimbaya Kokunso	Mali
	NW071	Souguéta, Grotte Kabeleya	Guinée
	NW043	Souguéta, Grotte Kabeleya	Guinée
	NW055	Souguéta, Soutou River	Guinée
	dou29	Dounonso	Burkina Faso
	kor5	Dafra	Burkina Faso
	EF584226	Parc National de Mont Peko	Côte d'Ivoire

5.3 *Carapa procera*

Afin de déterminer les flux de gènes entre les populations de *Carapa procera* à l'échelle de l'Afrique (comparaison des populations d'Afrique de l'Ouest avec celles d'Afrique Centrale), à l'échelle régionale (comparaison des populations au Nord – Bafing et Monts Mandingues - et au Sud du Mali - région de Sikasso) et à l'échelle locale (comparaison des populations du sud du Mali entre elles), 269 individus de 7 populations du Sénégal, du Mali, du Burkina Faso, du Cameroun et du Gabon ont été analysés (tableau 4).

Tableau 4. Populations et individus de *Carapa procera* analysés en génétique

Zones géographique	Pays	Localités	Nombre d'individus
Afrique de l'ouest	Sénégal	Oussouye	12
	Mali	Monts Mandingues	74
		Farako	71
		Woroni	40
Afrique centrale	Burkina Faso	Toussiana	14
	Cameroun	Sud Est	48
	Gabon	Nord	10

Huit microsatellites mis au point sur *Carapa guianensis* ont été amplifiés et génotypés sur séquenceur automatique. Les paramètres de diversité génétique (H_E , N_a , N_e et F_{ST}) ont été calculés. Des analyses de variance moléculaire ainsi que des analyses multivariées ont été effectuées afin de mettre en évidence la différenciation génétique entre les populations à l'aide de GenAlex. Les coefficients d'apparentement de Loiselle entre individus d'une même population ou de populations différentes ont été calculés à l'aide de SpageDi et leur corrélation avec la distance géographique a été testée.

6 et 7. Méthodes interactions Homme – Plante et valorisation

Carapa procera (le Kobi en langue locale) est une espèce-cible du présent projet, du fait de ses caractéristiques écologiques (essence forestière, liée à une source d'eau permanente). C'est par ailleurs, une espèce traditionnellement utilisée par les populations locales : La production d'huile à partir de ses graines est connue de longue date au sud Mali, cette huile étant essentiellement appréciée pour ses caractéristiques insecticides/insectifuges. Malgré ce rôle important pour les hommes, les animaux et les cultures, cette huile naturelle a été progressivement remplacée par des produits chimiques. Récemment, elle a permis la mise au point, avec d'autres composants naturels, d'un insecticide biologique utilisé dans la culture du coton biologique, par exemple par l'ONG Helvetas.

Afin d'évaluer l'état actuel des connaissances et de l'utilisation locales de cette espèce nous avons initié un travail d'enquêtes sur un certain nombre de village au sud du Mali en collaboration avec les ONG Helvetas et Mobiom. Le travail de terrain a été réalisé dans trois zones géographiques (régions de Sikasso, du Baoulé et des Monts Mandingues), en deux phases :

Durant la première, 11 interviews ont été conduites par Natalie Weber et Amadou Coulibaly (professeur à l'IPR) dans 11 villages entre le 8 février et le 3 mars 2008. Un questionnaire structuré avait été préparé à l'avance, et a été appliqué de façon semi-formelle pour permettre des allers-retours entre interviewers et interviewés. Le questionnaire était composé de questions « ouvertes » et « fermées », les premières permettant à l'interviewé de développer et discuter ses opinions, les secondes amenant à des réponses concrètes et comparables d'une interview à l'autre. Les questions se référaient aux usages traditionnels et actuels de l'huile de *Carapa*, au

statut actuel des populations et habitats de *Carapa*, ainsi qu'à la production d'huile elle-même. Par ailleurs, les personnes impliquées directement dans l'extraction d'huile étaient identifiées, et caractérisées (âge, statut social...).

La seconde phase du travail est en cours (juin 2008), pendant la période de fructification de *C. procera*. Elle a été préparée par les accords oraux préliminaires de février-mars concernant par exemple la récolte des graines par les villageois... Cette phase prévoit l'observation de l'extraction de l'huile, la comparaison des méthodes employées, le recrutement des personnes participant à cette activité et intéressées à la maintenir et l'étendre à une production annuelle. Elle visera également à préciser le lien entre populations de *Carapa* sur les sites d'étude et conservation des habitats concernés, en particulier en fonction de leur rôle de réserves d'eau. Le but est de développer la conscience locale de l'importance de l'intégrité environnementale, et également de susciter des discussions sur la perception par les résidents de l'intérêt de replanter du *Carapa* dans ses habitats naturels d'origine.

RESULTATS ET DISCUSSION

1 et 2. Résultats des analyses cartographiques

Les premiers résultats se présentent sous forme de couches d'informations numériques intégrables à la base de données SIG constituée tout au long du projet. Dans ce document, seulement quelques extraits seront présentés dans le but d'illustrer les commentaires.

Le traitement du MNE SRTM permet d'obtenir une cartographie des thalwegs, sur l'étendue des images. Pour obtenir la racine la plus proche des sources - afin d'isoler les pixels de forêt humide – le seuil de la valeur a été diminué au maximum. Cette étape n'est pas sans effet sur les axes d'écoulement en aval, et surtout sur les confluences (figure 11). La valeur seuil retenue est calée à 100. L'axe du thalweg est représenté par un enchaînement de pixel d'une largeur de 90m. A partir de là, des zones tampon ont été dérivées avec une incrémentation de 90m à partir des pixels représentant l'axe d'écoulement (figure 12).

Figure 11. Exemple de tracé des thalwegs sur Woroni, dérivé du MNE SRTM de résolution 90m selon la valeur du seuil. (A. Effet recherché pour remonter le cours d'eau vers la source. B. Effet indésirable aux confluences avec apparition de trajets parallèles des écoulements)

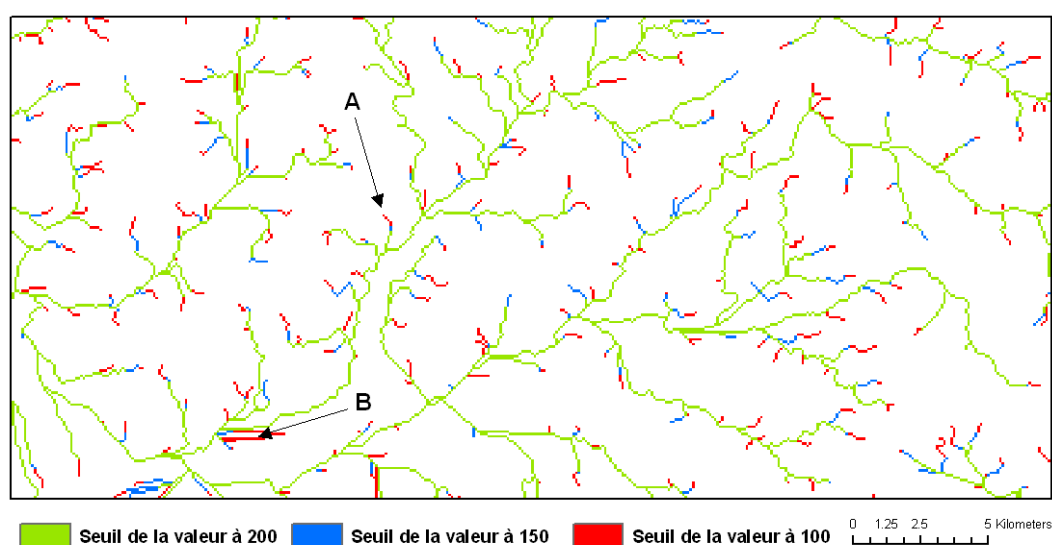
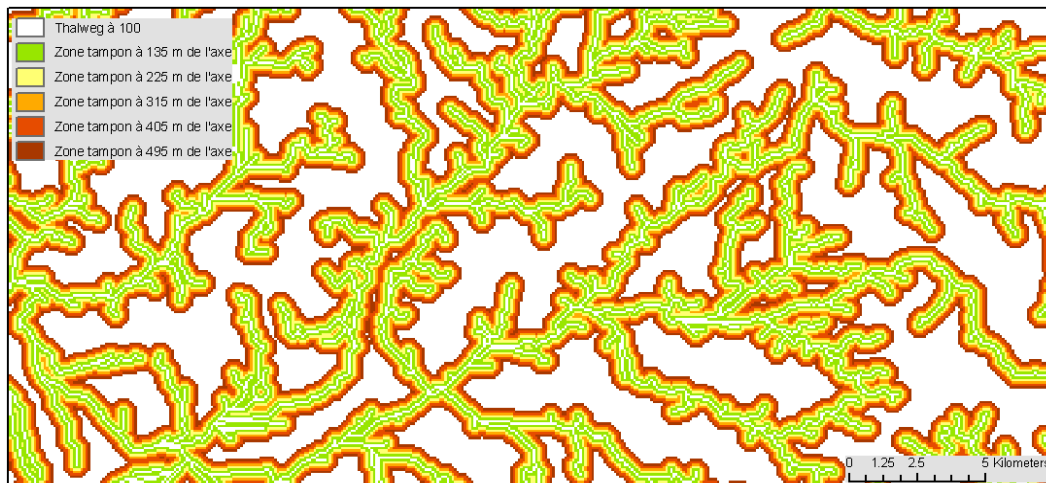


Figure 12. Localisation des zones tampon en périphérie des thalwegs (cette couche d'information permet de sélectionner les pixels de végétation aux propriétés spectrales de la forêt humide)



Du croisement des zones tampon et de la couche d'information seuillée de l'indice NDWI, on obtient une carte contenant les taches de forêt humide dans chaque zone tampon (figure 13). La valeur du seuil de l'indice NDWI varie selon l'image traitée (tableau 5). Ces limites sont basées sur les relevés de terrain.

Figure 13. Cartographie de la forêt humide dans les différentes zones tampon autour du site de Woroni

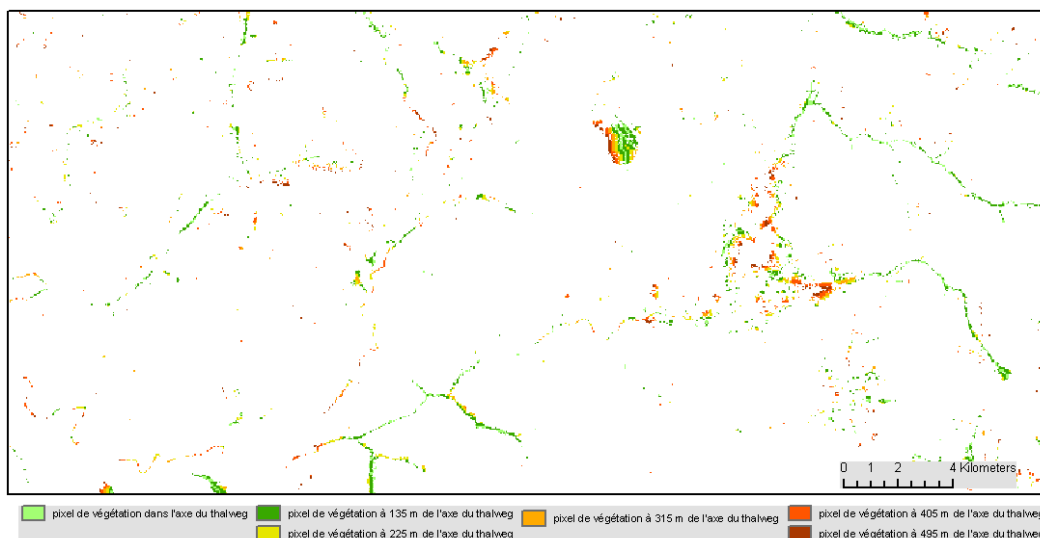


Tableau 5. Signature de la forêt humide avec l'indice NDWI sur les différentes images traitées

Image traitée	NDWI minimum	NDWI maximum	NDWI moyen	NDWI écart-type
Farako	8	89	52.1	16.5
Mandingues	1	45	16.7	7.3
Piama	1	10	5.07	1.82
Woroni	1	16	7.27	2.66

Une fois la cartographie réalisée, les surfaces de forêt humide peuvent être calculées pour chaque zone tampon, ainsi que le pourcentage qu'elles représentent par rapport aux surfaces analysées (tableau 6).

Tableau 6. Surface (et pourcentage) de forêt humide dans des bandes de largeur variable à partir du centre d'écoulement de la rivière

Image / surfaces en hectares (%)	0-45m	0-135m	0-225m	0-315m	0-405m	0-495m
Mts Mandingues	8711 (4,37%)	25075 (3,46%)	31273 (2,94%)	35561 (2,59%)	40419 (2,28%)	43327 (2,14%)
Piama	5167 (2,94%)	15889 (2,46%)	19711 (2,08%)	22200 (1,83%)	25216 (1,60%)	27121 (1,51%)
Farako	6159 (7,20%)	19721 (6,24%)	25731 (5,59%)	30291 (5,14%)	35738 (4,74%)	39049 (4,56%)
Woroni	476 (2,80%)	1595 (2,56%)	2138 (2,33%)	2530 (2,12%)	2979 (1,90%)	3256 (1,79%)

Par ailleurs, une fois les thalwegs et les taches de forêts humides délimitées, les longueurs de ces dernières peuvent être calculées, ainsi que le nombre de fragments et la variation de la longueur en contact. Ici, est proposé un exemple mettant en relation l'axe du thalweg et les taches de forêt humide, soit sur une largeur de 90m (tableau 7).

Tableau 7. Longueurs des linéaires de rivière accueillant de la forêt humide sur l'axe du thalweg (largeur 90m)

Image / longueurs en m	Nb de fragments	Longueur minimum	Longueur maximum	Longueur moyenne	Longueur totale	Ecart-type	Variance
Mts Mandingues	23395	0,48	981,07	50,19	1174199,8	61,26	3752,77
Piama	14161	0,25	1072,84	49,27	697676,0	59,04	3485,96
Farako	13410	0,40	1196,20	61,14	819899,2	68,24	4656,83
Woroni	1230	0,11	530,92	44,04	54173,5	45,04	2029,05

Les résultats obtenus concernant la cartographie des forêts humides au Mali sont intéressants à l'échelle du pays ou de la région administrative. Les surfaces et les longueurs produites sont les premières valeurs mesurées au Mali. Localement, cette information apporte des précisions plus fines que la cartographie effectuée dans le cadre du PIRL (Projet d'inventaire des ressources ligneuses, 1988). Quelques biais subsistent à différentes étapes de l'analyse, mais cette cartographie permet d'obtenir la surface des forêts humides à physionomie de forêt dense de type guinéo-congolais présent sur le territoire malien. Ces valeurs associées aux productivités définies par le PIRL peuvent dimensionner la contribution des forêts humides à, par exemple, stocker le carbone atmosphérique. Surtout, cela souligne la contribution de ce milieu naturel à constituer un réservoir de biodiversité végétale et animale. Les fragments et la longueur des linéaires de rivière accueillant de la forêt humide soulignent la fragilité de cet écosystème. Il apparaît de ce point de vue des différences importantes entre les sites, à l'échelle où ils ont été étudiés, avec en particulier une meilleure intégrité de la forêt humide sur le site de Farako (pourcentage de forêt humide de part et d'autre des thalwegs, longueur moyenne des fragments...). Finalement, cette cartographie met à jour, vingt ans après, l'estimation de la répartition de la forêt humide proposée par le PIRL.

4 Résultats des échantillonnages

4.1 Rongeurs

Dans le domaine de l'inventaire des petits mammifères, près de 8000 nuits-pièges ont permis de capturer 592 rongeurs (et deux musaraignes, *Crocidura* sp.), soit un rendement global de capture de 7,43%. Quelques observations d'espèces non ou difficilement piégeables ont également été réalisées. Le nombre de captures est assez bien corrélé avec l'effort de piégeage dans les 4 régions (cf. figure 1), alors que la richesse spécifique apparaît similaire dans 3 des 4 régions (Bafing, Monts Mandingues et région de Sikasso : 10-13 espèces piégées, 13 espèces au total dans chaque), indépendamment du nombre de nuits-pièges. La plus faible richesse enregistrée dans la région du Baoulé-sud est en partie liée à un effort de piégeage moindre dans cette région, mais également à la plus faible diversité d'habitats échantillonnés.

Dix-neuf espèces de Rongeurs ont ainsi été piégées (*Gerbilliscus* sp. correspond soit à *G. guineae* soit à *G. gambianus*), et cinq autres ont pu être soit observées, soit collectées par des enfants ou après excavation de leur terrier (tableau 8). Cet ensemble apparaît très représentatif de la faune de rongeurs de la zone soudanienne ouest africaine, avec une majorité d'espèces de Muridés de la sous-famille des Murinés (*Praomys rostratus*, *P. daltoni*, *Mastomys erythroleucus*, *M. natalensis*, *Lemniscomys linulus*, *L. striatus* et *L. zebra*, *Arvicanthis ansorgei*, *Mus minutoides*, *M. mattheyi* et *Dasymys rufulus*), quelques Muridés des sous-familles des Gerbillinés (*Gerbilliscus gambianus*, *G. guineae* et *Taterillus gracilis*), des Deomyinés (*Acomys johannis* et *Uranomys ruddi*), des Dendromurinés (*Steatomys caurinus*), des Cricetomyinés (*Cricetomys gambianus*), quelques Sciuridés (*Xerus erythropus*, *Heliosciurus gambianus* et *Funisciurus pyrropus*), Gliridés (*Graphiurus kelleni*), Thryonomyidés (*Thryonomys swinderianus*) et Ctenodactylidés (*Felovia vae*). Quelques espèces très peu souvent observées comme *Lemniscomys linulus*, *Uranomys ruddi*, *Mus minutoides* et *Felovia vae* sont à noter dans cette liste. A l'opposé, un groupe de 4 espèces apparaît comme très dominant dans ce peuplement, avec deux espèces du genre *Praomys* (*P. rostratus* et *P. daltoni*) et deux espèces du genre *Mastomys* (*M. erythroleucus* et *M. natalensis*). Cette dernière espèce est presque exclusivement commensale dans cette zone, et n'a donc été piégée que dans les villages où elle est l'espèce dominante devant *P. daltoni* qui est quant à elle trouvée préférentiellement en extérieur à ces latitudes (tableau 9). *Praomys daltoni* semble suivre un cline d'abondance décroissante d'ouest en est ; *L. linulus* semble quant à elle cantonnée à l'ouest du Mali, alors que *L. striatus* et *A. johannis* seraient à l'inverse limités au sud-est du pays.

Tableau 8. Liste des espèces de rongeurs piégées et observées, et effectifs dans les 4 régions d'étude

Espèces	Bafing	Mandingues	Baoulé	Sikasso	Total
<i>Praomys rostratus</i>	56	43	18	79	196
<i>Praomys daltoni</i>	84	58	7	4	153
<i>Mastomys erythroleucus</i>	47	24	17	24	112
<i>Mastomys natalensis</i>	39	4	7	13	63
<i>Lemniscomys linulus</i>	2	9			11
<i>Gerbilliscus gambianus</i>	10				10
<i>Acomys johannis</i>				8	8
<i>Lemniscomys striatus</i>				7	7
<i>Lemniscomys zebra</i>	2	4			6
<i>Taterillus gracilis</i>		5		1	6
<i>Arvicanthis ansorgei</i>		3		1	4
<i>Uranomys ruddi</i>	1			2	3
<i>Xerus erythropus</i>		2		1	3
<i>Gerbilliscus guineae</i>	2				2
<i>Heliosciurus gambianus</i>	1	(1)			1
<i>Gerbilliscus sp.</i>		2			2
<i>Steatomys caurinus</i>		(2)			0
<i>Mus minutoides</i>				2	2
<i>Mus mattheyi</i>	(1)				0
<i>Dasymys rufulus</i>			1		1
<i>Cricetomys gambianus</i>				1	1
<i>Funisciurus pyrropus</i>			obs	1	1
<i>Felovia vae</i>	obs				
<i>Graphiurus kelleni</i>	obs				
<i>Thyonomys swinderianus</i>		obs	obs		
Nb Nuits-pièges	3853	1324	944	1848	7969
Nb captures	244	154	50	144	592
Nb espèces	13	13	7	13	25

(1)= capturé par enfants; (2)=excavé; obs=observation

L'analyse par type d'habitat fait apparaître quelques tendances assez tranchées (tableau 9) :

- L'espèce dominante dans les forêts humides les mieux préservées, en particulier les forêts galeries, est *Praomys rostratus*, tant en abondance qu'en fréquence d'occurrence. *Praomys daltoni* et dans une moindre mesure *Mastomys erythroleucus* sont également souvent présentes dans ces milieux. Ce type de milieu n'a pas été échantillonné dans les Monts Mandingues.

- Dans les forêts humides dégradées du fait des activités humaines, *P. rostratus* tend à rester relativement abondant, sauf dans la région du Bafing où *P. daltoni* devient clairement dominant.

- Les forêts de faille sont caractérisées par la forte dominance de *P. daltoni*, et l'absence complète de *P. rostratus*.

- La matrice de savane soudanienne (des savanes arbustives aux forêts claires) qui domine les paysages non perturbés de ces régions est occupée par plusieurs espèces à abondance similaire, avec de façon constante l'association *P. daltoni* – *M. erythroleucus*.

- Les zones herbeuses, soit naturelles soit d'origine anthropique, abritent un cortège d'espèces relativement important, dominé par *M. erythroleucus*. Ces deux derniers habitats voient certaines espèces des savanes guinéennes atteindre l'extrême limite nord de leur distribution, comme *U. ruddi* et *L. striatus*.

- *Mastomys natalensis* est l'espèce commensale principale, comme ailleurs en Afrique de l'Ouest. Elle n'est pas ici en concurrence avec les espèces introduites dans certaines régions que

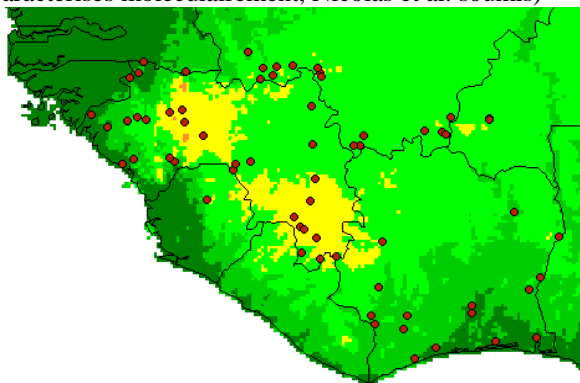
sont *Rattus rattus* ou *Mus musculus*, et *P. daltoni* est la seule autre espèce rencontrée dans les maisons, tout au moins dans le Bafing.

Praomys rostratus (figure 14) apparaît donc comme l'espèce caractéristique des milieux forestiers les plus humides du sud Mali, en particulier des forêts galeries longeant les cours d'eau permanents mais également temporaires dans différents états de conservation/dégradation. En effet, dans un certain nombre de cas, cette espèce a été trouvée dans des cordons de galerie forestière constitués d'une seule rangée d'arbres, parfois interrompus par de larges zones dégagées (en particulier pour l'agriculture, ou l'accès à l'eau des hommes et du bétail), au bord de rivières temporairement asséchées (période entre février et juin en particulier). Cette espèce est par ailleurs répartie dans une large aire géographique, couvrant toute la Guinée, l'extrême sud-est du Sénégal, le sud du Mali, le sud-ouest du Burkina-Faso, et l'ensemble de la Sierra Leone, du Libéria et de la Côte d'Ivoire (Nicolas et al., soumis, figure 15). Cette répartition est de fait nettement plus importante que celle de l'espèce jumelle *Praomys tullbergi* qui ne serait présente quant à elle qu'au sud de la Guinée, en Côte d'Ivoire et au Ghana (Nicolas et al., soumis). Ces informations ont pu être obtenues à la suite de l'analyse moléculaire (séquençage du cytochrome b) de plusieurs centaines de spécimens de *Praomys* d'Afrique de l'Ouest, parmi lesquels un grand nombre récolté à la faveur du présent programme au Mali.

Figure 14. *Praomys rostratus* (Photo L. Granjon)



Figure 15. Points d'occurrence de *Praomys rostratus* en Afrique de l'Ouest (carte du relief, spécimens caractérisés moléculairement, Nicolas et al. soumis)



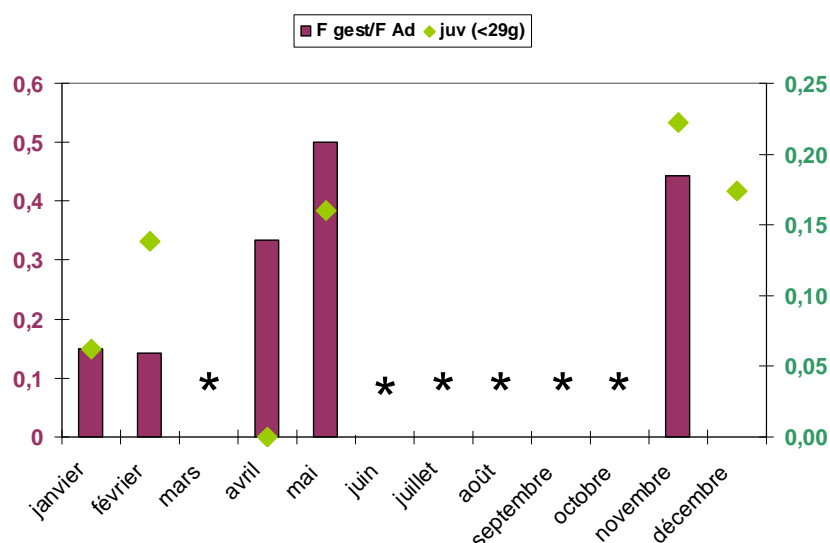
Les zones forestières du sud du Mali apparaissent donc comme abritant les populations de l'extrême limite nord de distribution de cette espèce, en continuité avec celles situées plus au sud essentiellement via le réseau hydrographique dense de cette région. Cette continuité d'habitat explique sans doute en partie le maintien d'une diversité génétique relativement importante dans ces populations, ainsi que le patron de structuration génétique observé, témoin probable de l'arrangement spatial des bassins hydrographiques régionaux ainsi que des aléas de l'histoire climatique (Quaternaire) de l'Afrique de l'Ouest (Nicolas et al. soumis).

Tableau 9 : Distribution des espèces de rongeurs par région et habitat (n-p=nuit.piège)

	Bafing		Mts Mandingues		Baoulé-sud		Sikasso	
	Nb n-p (nb sites*)	Espèces (Nb capt. - Nb sites)	Nb n-p (nb sites*)	Espèces (Nb capt. - Nb sites)	Nb n-p (nb sites*)	Espèces (Nb capt. - Nb sites)	Nb n-p (nb sites*)	Espèces (Nb capt. - Nb sites)
Forêt humide peu / pas dégradée (forêt-galerie, bois sacré, forêt de bas fond humide)	1396 (12 sites)	<i>P. rostratus</i> (51 - 10) <i>P. daltoni</i> (37 - 9) <i>M. erythroleucus</i> (12 - 4)			584 (4 sites)	<i>P. rostratus</i> (18 - 4) <i>P. daltoni</i> (4 - 2)	1098 (6 sites)	<i>P. rostratus</i> (69 - 6) <i>M. erythroleucus</i> (4 - 1) <i>P. daltoni</i> (2 - 1) <i>A. johannis</i> (1 - 1) <i>M. minutoides</i> (1 - 1) <i>L. striatus</i> (1 - 1)
Forêt humide dégradée (forêt-galerie, bois sacré, forêt de bas fond humide)	405 (8 sites)	<i>P. daltoni</i> (12 - 6) <i>P. rostratus</i> (4 - 2) <i>M. erythroleucus</i> (3 - 2)	640 (4 sites)	<i>P. rostratus</i> (43 - 4) <i>P. daltoni</i> (15 - 4) <i>M. erythroleucus</i> (15 - 3) <i>A. ansorgei</i> (1 - 1)			50 (2 sites)	<i>P. rostratus</i> (9 - 2) <i>F. pyrrhopus</i> (1 - 1)
Forêt de faille	772 (6 sites)	<i>P. daltoni</i> (16 - 5) <i>M. erythroleucus</i> (4 - 2) <i>H. gambianus</i> (1 - 1)	300 (2 sites)	<i>P. daltoni</i> (42 - 2) <i>X. erythropus</i> (2 - 1)				
Forêt claire-Savanne arborée-Savane arbustive	405 (6 sites)	<i>P. daltoni</i> (5 - 2) <i>M. erythroleucus</i> (3 - 2) <i>G. gambianus</i> (5 - 1) <i>P. rostratus</i> (1 - 1)	261 (2 sites)	<i>M. erythroleucus</i> (6 - 2) <i>L. linulus</i> (5 - 1) <i>A. ansorgei</i> (2 - 1) <i>Gerbilliscus</i> sp. (2 - 1) <i>P. daltoni</i> (1 - 1)	190 (2 sites)	<i>M. erythroleucus</i> (10 - 1) <i>P. daltoni</i> (3 - 2)	390 (4 sites)	<i>A. johannis</i> (7 - 2) <i>P. daltoni</i> (2 - 2) <i>M. erythroleucus</i> (1 - 1) <i>T. gracilis</i> (1 - 1)
Zones herbeuses (incl. jardins-champs hameaux)	644 (6 sites)	<i>M. erythroleucus</i> (24 - 3) <i>P. daltoni</i> (7 - 4) <i>G. gambianus</i> (5 - 2) <i>L. linulus</i> (2 - 1) <i>L. zebra</i> (2 - 1) <i>G. guineae</i> (1 - 1) <i>U. ruddi</i> (1 - 1) <i>G. guineae</i> (1 - 1)	80 (2 sites)	<i>M. erythroleucus</i> (3 - 2) <i>T. gracilis</i> (5 - 1) <i>L. linulus</i> (4 - 1) <i>L. zebra</i> (4 - 1)	140 (2 sites)	<i>M. erythroleucus</i> (7 - 1) <i>D. rufulus</i> (1 - 1)	251 (5 sites)	<i>M. erythroleucus</i> (19 - 4) <i>L. striatus</i> (6 - 3) <i>U. ruddi</i> (2 - 2) <i>P. rostratus</i> (1 - 1) <i>A. ansorgei</i> (1 - 1) <i>C. gambianus</i> (1 - 1) <i>M. minutoides</i> (1 - 1) <i>X. erythropus</i> (1 - 1)
villages	231 (3 sites)	<i>M. natalensis</i> (39 - 3) <i>P. daltoni</i> (7 - 3) <i>M. erythroleucus</i> (1 - 1)	43 (1 site)	<i>M. natalensis</i> (4 - 1)	30 (1 site)	<i>M. natalensis</i> (7 - 1)	59 (2 sites)	<i>M. natalensis</i> (13 - 2)

Dans ces milieux, la reproduction de *P. rostratus* semble être « calée » sur la saison des pluies qui dans cette région s'étend de mai à octobre-novembre : Bien que les données manquent pour un certain nombre de mois, il apparaît clairement que la période de reproduction commence avant même le début des pluies (avril-mai), et semble se poursuivre après leur fin (novembre, figure 16). Ce rythme est en complet décalage de phase avec celui des espèces typiquement sahélo-soudaniennes, chez qui la reproduction commence au plus tôt pendant la saison des pluies, et souvent vers la fin de celle-ci. La concordance éventuelle du cycle démographique de cette espèce frugivore avec le rythme de production de fruits par les principales espèces d'arbres des sites concernés pourra être testée, comme cela a été fait en Guyane française (voir travaux d'O. Henry et G. Dubost).

Figure 16. Données sur la reproduction de *P. rostratus* : Pourcentages de femelles gestantes et de juvéniles dans les populations échantillonnées (*=pas de données)



En revanche, les forêts de faille du sud Mali ne permettent visiblement pas la survie de populations de *P. rostratus*. Très pauvres en diversité, leur peuplement de rongeurs est dominé par *P. daltoni* (figure 17), espèce par ailleurs très ubiquiste puisque la seule avec *M. erythroleucus* à être représentée dans tous les types d'habitats (tableau 9). Sa propension à occuper les milieux rocheux explique certainement son abondance dans les zones de failles. Pour cette espèce également, les échantillonnages réalisés au cours du présent programme ont permis d'accumuler un grand nombre de prélèvements en éthanol qui ont participé à une étude phylogéographique sur la base du séquençage du cytochrome b d'un grand nombre de spécimens sur l'ensemble de l'aire de distribution de l'espèce (Afrique de l'Ouest ; collaboration A. Konecny & J. Bryja, Académie des Sciences de Rép. Tchèque, Brno). Une information majeure concernant les populations du sud Mali est leur séparation en 2 clades distincts, l'un renfermant les échantillons du Bafing et des Monts Mandingues associées à ceux du Sénégal et de Guinée, l'autre incluant les échantillons des régions du Baoulé-sud et de Sikasso, proches génétiquement de ceux du Burkina-Faso. Là encore, le rôle des grands fleuves et de leurs bassins versants paraît important pour expliquer ces discontinuités.

Figure 17. *Praomys daltoni* (Photo L. Granjon)



4.2 Chauves-souris

Des échantillonnages préliminaires, en parallèle des piégeages de rongeurs, avaient été réalisés entre 2001 et 2006 par L. Granjon et ses collègues du laboratoire de mammalogie de l'IRD Bamako (D. Abdoulaye et Y. Papillon en particulier, 27 nuits au total). Ces sessions avaient permis la capture de 119 individus de 25 espèces dans les 4 régions du projet (cf. figure 1). Par la suite (2007-2008), les échantillonnages plus intensifs et standardisés réalisés par N. Weber ont permis de capturer 632 individus de 38 espèces (n'incluant pas les données de la dernière session de terrain de mai 2008, en cours d'analyse). Durant cette phase d'échantillonnage intensif, chacune des 4 régions a été visitée deux fois: une fois durant la saison sèche et une fois durant la saison des pluies (pour un total de 53 nuits). L'effort de capture total pendant le projet, soit entre mai 2007 et mars 2008, a été de 798,3 heures-filet (en équivalent-filet de 12m, tableau 10). Le succès de capture a été calculé comme le nombre d'individus capturés par "heure de filet".

Tableau 10. Effort de capture (nh: nombre total d'heure-filet par région, en équivalent-filet de 12m; th: nombre total d'heure-piège harpe par région) **et succès de capture** (nombre d'individus capturés par heure-filet ou heure-harpe sur la période 2007-2008).

Région	Filets			Piège harpe		
	effort [nh]	Nb individus	Ind. / nh	effort [th]	Nb individus	Ind. / th
Sikasso	252.6	192	0.76	46.7	2	0.04
Madina Diassa	140.4	74	0.53	65.3	11	0.17
Mts. Mandingues	119.8	72	0.60	20.5	21	1.02
Bafing	285.5	123	0.43	53.1	39	0.73
Total	798.3	461	0.58	185.6	73	0.49

Au total, près de 1000 individus de 44 espèces ont été capturés dans les 4 régions, incluant 32 nouvelles espèces pour la Mali, ce qui a amené le total pour le pays de 24 à 54-56 espèces (en attendant l'identification définitive éventuelle de 2 espèces: *Nycteris gambiensis* et *Tadarida aegyptiaca*). Au cours de cette étude, le nombre total d'espèces présentes au Mali a donc été plus que doublé, et les 44 espèces enregistrées dans les 4 régions d'étude du sud Mali représentent 81% du total d'espèces actuellement connues dans le pays.

L'extension de l'aire géographique couverte par de nombreuses espèces est particulièrement notable (souvent autour de 500 km; tableau 11), soulignant le déficit en recherches préalables à nos études. De même, nos données représentent la 3^{ème} ou 5^{ème} mention pour l'ensemble de la région ouest-africaine de plusieurs espèces (*Kerivoula argentata*, *Pipistrellus inexpectatus*, *Mops demonstrator*). Enfin, nos résultats correspondent à plus de 200 nouvelles combinaisons espèce-localité, ce qui nourrit significativement les études en cours de modélisation des distributions potentielles des chauves-souris en Afrique de l'Ouest (voir ci-dessous)

Tableau 11. Premières mentions d'espèces de chauve-souris pour le Mali, et distance géographique à la localité la plus proche connue auparavant. Trois espèces ont été enregistrées au cours de sessions de terrain indépendantes

	km	Plus proche site de présence	Remarque
Pteropodidae			
<i>Hypsignathus monstrosus</i>	85	S-O Burkina Faso	
<i>Nanonycteris veldkampii</i>	170	N Côte d'Ivoire	
<i>Myonycteris torquata</i>	170	N Côte d'Ivoire	
<i>Rousettus aegyptiacus</i>	170	N-O Côte d'Ivoire	
Rhinopomatidae			
<i>Rhinopoma microphyllum</i>	305	N Burkina Faso	hors Medd-ECOFOR
Emballonuridae			
<i>Taphozous mauritanus</i>	680	N-E Côte d'Ivoire	hors Medd-ECOFOR
<i>Taphozous nudiventris</i>	480	N-O Ghana	
<i>Coleura afra</i>	210	N-O Côte d'Ivoire	
Nycteridae			
<i>Nycteris grandis</i>	240	S-E Guinée	
Megadermatidae			
<i>Lavia frons</i>	480	N-O Ghana	
Rhinolophidae			
<i>Rhinolophus landeri</i>	120	N Côte d'Ivoire	
<i>Rhinolophus guineensis</i>	490	S-E Sénégal	
<i>Rhinolophus alcyone</i>	300	N-O Côte d'Ivoire	
Hipposideridae			
<i>Hipposideros caffer</i>	160	S-E Sénégal	
<i>Hipposideros ruber</i>	150	N-O Côte d'Ivoire	
<i>Hipposideros cyclops</i>	205	N Côte d'Ivoire	
<i>Hipposideros abae</i>	225	S-E Sénégal	
Vespertilionidae			
<i>Kerivoula lanosa</i>	490	S-E Guinée	
<i>Kerivoula argentata</i>	410	S-E Sénégal	3 ^{ème} donnée pour l'Afrique de l'Ouest
<i>Myotis bocagii</i>	340	S-E Sénégal	
<i>Pipistrellus rusticus</i>	445	Centre Burkina-Faso	
<i>Pipistrellus nanulus</i>	275	S-E Guinée	
<i>Pipistrellus inexpectatus</i>	530	O Ghana	5 ^{ème} donnée pour l'Afrique de l'Ouest
<i>Neoromicia guineensis</i>	140	S-O Burkina-Faso	
<i>Neoromicia somalicus</i>	120	S-O Burkina-Faso	
<i>Neoromicia tenuipinnis</i>	350	N Sierra Leone	
<i>Mimetillus moloneyi</i>	295	N-O Côte d'Ivoire	
<i>Glauconycteris variegata</i>	295	N-O Côte d'Ivoire	
<i>Scotoecus albofuscus</i>	545	N Sierra Leone	hors Medd-ECOFOR
<i>Scotoecus hirundo</i>	295	N-O Côte d'Ivoire	
Miniopteridae			
<i>Miniopterus villiersi</i>	415	Guinée	
Molossidae			
<i>Mops demonstrator</i>	790	O Ghana	3 ^{ème} donnée pour l'Afrique de l'Ouest

Parmi les régions d'étude, la région de Sikasso se distingue par le plus fort pourcentage d'espèces restreintes ou trouvées de façon prédominante dans les habitats forestiers (29% contre 8–11% dans les 3 autres régions; tableau 12). Ces espèces sont typiquement connues d'habitats forestiers plus au sud (par exemple *Hypsignathus monstrosus*, *Rhinolophus alcyone*, *Hipposideros cyclops*, *Kerivoula lanosa*, *Mimetillus moloneyi*) et ont été capturées exclusivement dans la région de Sikasso. Par ailleurs, les régions du Bafing et des Mts

Mandingues constituent des extensions vers le nord du plateau du Fouta Djallon en Guinée, caractérisé par des massifs rocheux nombreux, riches en grottes et failles. De fait, ces deux régions hébergent un grand nombre d'espèces strictement ou partiellement dépendantes de grottes (44–48% de la richesse spécifique totale), rarement ou jamais rencontrées dans les régions de Sikasso ou Madina Diassa (26–28% de la richesse spécifique totale). Ainsi les espèces typiques de grottes *Rhinolophus guineensis* and *Miniopterus villiersi* ont leur centre de distribution dans les régions montagneuses entre la Guinée, la Sierra Leone et le Libéria, et nos données du sud Mali représentent d'importantes extensions d'aires de distribution.

Bien que les chauves-souris soient très mobiles, elles sont également connues pour avoir des exigences d'habitat très spécifiques. Ceci est illustré par le fort “turn-over” (b-diversité) entre les régions d'étude, apparent à la fois d'un point de vue qualitatif (présence-absence, figure 18) ou quantitatif (abondance relative, tableau 12). Sur la base des données de présence-absence, le turn-over d'espèces est en général lié à la distance géographique, indiquant un déclin lié à la distance de la similarité des assemblages d'espèces (Nekola & White 1999, Soiminen et al. 2007). Les analyses en cours ont pour but de mettre en évidence l'importance des variables en relation avec l'habitat comme la végétation ou l'hétérogénéité topographique dans la structuration des assemblages d'espèces de chauve-souris à différentes échelles spatiales.

Figure 18. Indice quantitatif de similarité de Sørensen (allant de 0 = aucune espèce en commun et 100 = toutes les espèces en commun) entre les 4 régions d'étude, basé sur les données de présence-absence. A noter la forte similarité entre régions voisines et la similarité réduite entre régions distantes

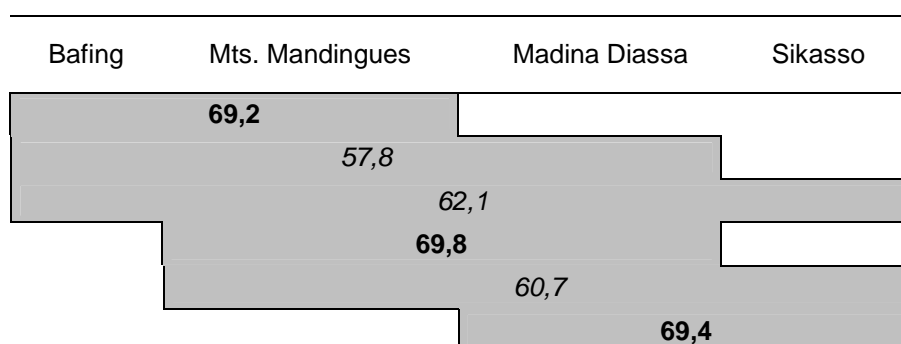


Tableau 12. Espèces de chauve-souris présentes dans les 4 régions d'étude. Les nombres représentent les effectifs capturés, suivis par les pourcentages correspondants. (En gras: espèces dominantes, caractéristiques de chaque région; *: espèce seulement observée. **Habitat: type préféré (**F:** forêt; **S:** savanes **et entre parenthèse:** habitat marginal pour l'espèce). **Grotte:** dépendance stricte + ou facultative (+) comme gîte diurne)**

Famille	Espèce	Habitat	Grotte	Région							
				Bafing		Mts Mandingues		Madina Diassa		Sikasso	
Pteropodidae	<i>Epomophorus gambianus</i>	S		28	14,7%	36	19,1%	6	6,5%	46	19,5%
	<i>Micropteropus pusillus</i>	S		33	17,4%	7	3,7%	4	4,3%	28	11,9%
	<i>Hypsognathus monstrosus</i>	(S) F								*	
	<i>Nanonycteris veldkampii</i>	(S) F								*	
	<i>Myonycteris torquata</i>	(S) F		1	0,5%					2	0,8%
	<i>Rousettus aegyptiacus</i>	S F	+	1	0,5%	1	0,5%			4	1,7%
Emballonuridae	<i>Taphozous perforatus</i>	S	(+)	1	0,5%						
	<i>Taphozous nudiventris</i>	S	(+)							1	0,4%
	<i>Coleura afra</i>	S	+							*	
Nycteridae	<i>Nycteris grandis</i>	(S) F		1	0,5%			2	2,2%	2	0,8%
	<i>Nycteris hispidus</i>	S F		4	2,1%	5	2,7%	2	2,2%	8	3,4%
	<i>Nycteris macrotis</i>	S F	(+)	7	3,7%	1	0,5%			3	1,3%
	<i>Nycteris thebaica</i>	S	+	3	1,6%						
Rhinolophidae	<i>Rhinolophus landeri</i>	S (F)	+	10	5,3%	1	0,5%	2	2,2%	7	3,0%
	<i>Rhinolophus guineensis</i>	F	+			5	2,7%				
	<i>Rhinolophus alcyone</i>	(S) F								1	0,4%
	<i>Rhinolophus fumigatus</i>	S	+	19	10,0%	3	1,6%	1	1,1%	1	0,4%
Hipposideridae	<i>Hipposideros jonesi</i>	S F	+	12	6,3%	4	2,1%	19	20,4%		
	<i>Hipposideros tephros</i>	S	(+)	2	1,1%						
	<i>Hipposideros caffer</i>	S F	(+)	3	1,6%	2	1,1%				
	<i>Hipposideros ruber</i>	S F	(+)	4	2,1%	4	2,1%	3	3,2%	8	3,4%
	<i>Hipposideros cyclops</i>	F								3	1,3%
	<i>Hipposideros abae</i>	S	+	3	1,6%	10	5,3%				
	<i>Hipposideros vittatus</i>	S	(+)			3	1,6%	2	2,2%	1	0,4%
	<i>Asellia tridens</i>	S	(+)	2	1,1%	1	0,5%				
Vespertilionidae	<i>Kerivoula argentata</i>	S				1	0,5%				
	<i>Kerivoula lanosa</i>	(S) F								2	0,8%
	<i>Myotis bocagii</i>	S F		1	0,5%					1	0,4%
	<i>Pipistrellus rusticus</i>	S		1	0,5%					1	0,4%
	<i>Pipistrellus inexpectatus</i>	S						1	1,1%	1	0,4%
	<i>Pipistrellus nanulus</i>	(S) F						1	1,1%	3	1,3%
	<i>Neoromicia nanus</i>	S F		6	3,2%	17	9,0%	2	2,2%	4	1,7%
	<i>Neoromicia guineensis</i>	S (F)		8	4,2%	18	9,6%	5	5,4%	20	8,5%
	<i>Neoromicia somalicus</i>	S		9	4,7%	17	9,0%	14	15,1%	26	11,0%
	<i>Neoromicia tenuipinnis</i>	(S) F	+								
	<i>Mimetillus moloneyi</i>	(S) F								2	0,8%
	<i>Glauconycteris variegata</i>	S				1	0,5%	1	1,1%	1	0,4%
	<i>Scotoecus hirundo</i>	S				12	6,4%	1	1,1%	5	2,1%
	<i>Scotophilus leucogaster</i>	S		3	1,6%	15	8,0%	6	6,5%	10	4,2%
	<i>Scotophilus viridis</i>	S		9	4,7%	14	7,4%	21	22,6%	43	18,2%
Miniopteridae	<i>Miniopterus villiersi</i>	(S) F	+			5	2,7%				
Molossidae	<i>Chaerephon pumilus</i>	S		17	8,9%	3	1,6%			2	0,8%
	<i>Mops condylurus</i>	S		2	1,1%						
	<i>Mops demonstrator</i>	S				2	1,1%				
Individus				190		188		93		236	
Espèces				27		25		18		31	
Espèce majoritairement de savane [S + S(F)]				16	59,3%	16	64,0%	12	66,7%	16	51,6%
Espèce majoritairement de forêt [F + F(S)]				3	11,1%	2	8,0%	2	11,1%	9	29,0%

4.3 Botanique

Les inventaires des ligneux ont conduit à distinguer la présence des espèces en fonction des différents milieux observés. Nous avons donc élaboré une classification préliminaire des types de milieux principalement en fonction du substrat et de la disponibilité hydrique, notamment la durée de l'écoulement. Pour le moment, nous distinguons deux types majeurs de milieux qui se déclinent chacun en deux sous-catégories :

1. Les galeries forestières se situent dans la continuité du réseau hydrique des bassins versants sédimentaires des fleuves Sénégal et Niger. Elles sont caractérisées par substrat terreux avec une accumulation de matières organiques qui constituent une couche humifère superficielle dans laquelle se fixe la végétation.
 - a. Les galeries à écoulement permanent (Gp). Ces milieux (fleuve, rivière,...) sont caractérisés par une double rupture de pente qui marque la variation du niveau des pluies, les basses et hautes eaux. Dans ces milieux, la végétation arborescente est cantonnée aux zones de première rupture de pente ; c'est-à-dire la partie de la rive qui n'est jamais inondée ou très temporairement durant l'arrivée des crues. La deuxième rupture de pente est occupée par la végétation qui supporte une inondation plus longue. On y retrouve essentiellement les arbustes mais également quelques arbres (*Syzgium guineense* subsp. *guineense*, *Myrianthus serratus*, *Cola laurifolia*) généralement ancrés sur la première rupture de pente mais qui adoptent un port asymétrique caractéristique des arbres ripicoles avec notamment de multiples réitérations.
 - b. Les galeries à écoulement temporaire (Gt) sont caractérisées par une simple rupture de pente très abrupte, parfois verticale dont la hauteur est relative à la hauteur des crues. Dans ces milieux la végétation est exclusivement ancrée au niveau de la rupture topographique. Les hautes eaux sont violentes, c'est-à-dire qu'elles interviennent brutalement sous la forme d'une vague qui balaie toute la végétation sur son passage. Au centre on ne retrouve sporadiquement que les herbacées annuelles, ou quelques arbustes inféodés à ces milieux de rapides et supportant l'inondation totale durant la saison pluvieuse (ex : *Rotula aquatica*)
2. les failles forestières se situent exclusivement dans les falaises gréseuses. Elles sont caractérisées par un substrat principalement rocheux formé par des éboulis (sols caillouteux) qui s'inscrivent dans le dénivelé topographique. Les plantes sont fixées entre les éboulis rocheux, parfois ancrées sur les parois verticales par des systèmes racinaires qui pénètrent les anfractuosités des roches.
 - a. Les failles à écoulement permanent (Fp) que l'on retrouve exclusivement dans les falaises gréseuses, dans les Monts Mandingues, la zone du Bafing ainsi que dans la continuité du plateau de Banfora au sud/est à Woroni, à proximité de Sikasso. Ces milieux sont alimentés par des résurgences d'eau dont le débit est régulé par le filtrage hydrogéologique du substrat gréseux. L'eau provient de l'écoulement durant la saison des pluies qui parcourt progressivement les anfractuosités de ces roches imperméables, se concentre dans des réservoirs externes (bassins, mini-lacs réservoirs ou 'marmite de sorcières') ou internes constitués au sein même des failles. Le régime des eaux est relativement constant, les crues sont faibles généralement inférieures à 1m. La végétation se concentre partout y compris dans le lit même de la rivière où on retrouve les arbustes de sous-bois les plus ombrophiles (*Ixora brachypoda*, *Garcinia ovalifolia*, *G. afzelii*)
 - b. Les failles à écoulement temporaire (Ft) se rapprochent de la notion de faille géologique par le fait qu'elles constituent une rupture topographique franche au sein d'une falaise gréseuse. L'eau des pluies ruisselle superficiellement sur le plateau et converge dans ces ruptures topographiques tandis que la faille reste

asséchée en dehors de la saison des pluies. Ces failles sont caractérisées par des parois verticales pouvant atteindre, par endroits, plusieurs dizaines de mètres de hauteur (ex : falaise de Kita, faille du cirque de Sémé). Les crues sont importantes parfois jusque 10m balayant toute la végétation sur son passage. Les arbres qui persistent dans ces milieux sont soit ancrés dans les anfractuosités des parois verticales (ex : *Ficus* spp.) soit supportent la brutalité du passage des eaux notamment par des mécanismes de réitérations traumatiques sur les troncs couchés et déracinés (ex : *Gilletiodendron glandulosum*, *Celtis toka*)

La fragmentation des galeries et des failles forestières :

Ces deux catégories principales subissent l'impact des activités anthropiques qui participent à la fragmentation de la continuité forestière et qui peuvent dans certains cas, transformer une zone forestière en un marigot plus ou moins stagnant.

1. La fragmentation longitudinale est principalement dépendante de la verticalité de la rupture de pente. Pour l'agriculture, l'homme intervient principalement sur les pentes douces, éventuellement inondables qui constituent des secteurs de choix pour la culture maraichère et la création des vergers, notamment les mangueraias. En raison du substrat, cet impact agricole se concentre essentiellement le long des galeries forestières sur les sols les plus humifères, favorables à la fois pour le développement des cultures et pour les travaux champêtres. Les galeries forestières sont ainsi fréquemment fractionnées, dans les zones de faible pente, par les activités agricoles. Lorsque les pentes sont abruptes ou qu'il s'agit de failles gréseuses, l'impact anthropique est indirect. Le plus fréquemment, il intervient par la coupe d'un gros arbre dont seul le fût vertical est utilisé pour le bois d'œuvre (*Khaya senegalensis*, *Erythrophleum suaveolens*...) tandis que le reste de la couronne est laissé sur place. La zone est fractionnée par la constitution d'un gros chablis qui laisse pénétrer la lumière et secondairement par le feu qui se propage dans un sens perpendiculaire à la faille en profitant des rameaux de bois sec et des incursions du Bambou (*Oxytenanthera abyssinica*) qui se développe principalement dans ces zones d'éboulis rocheux exposée à la lumière du soleil.
2. La fragmentation transversale, c'est-à-dire la réduction du volume de la forêt de chaque côté de la zone d'écoulement, est également liée aux activités agricoles. Elle s'intensifie dans les méandres des galeries forestières à écoulement permanent dont le sol humifère bénéficie d'une plus grande surface de contact avec la zone humide. Dans certaines galeries reculées ou exemptes de perturbation humaine importante (ex : galeries de Madina Diassa, de Dianguemerila, Saniena, Kambaya...), on constate que la flore strictement ripicole est en connexion avec la flore de la forêt claire avoisinante (*Burkea africana*, *Khaya senegalensis*, *Prosopis africana*, *Parkia biglobosa*, *Vitellaria paradoxa*, *Isoberlinia doka*...) sans noter une discontinuité dans la canopée qui atteint, par endroits, 25m de haut.

La liste des taxons, identifiés au rang spécifique, rencontrés dans les 4 milieux et les 4 régions du projet est présentée dans le tableau 13. En plus des milieux précédemment détaillés, nous définissons une catégorie 'savane' qui correspond aux taxons rencontrés à la fois dans ces milieux humides et dans la savane avoisinante (cf. § méthodologie échantillonnage botanique). Ces espèces correspondent à des incursions de la flore de savane dans les cordons forestiers en profitant de la fragmentation des milieux. Dans l'état actuel des déterminations, nous enregistrons 19 espèces nouvelles mentionnées pour le Mali.

Tableau 13. Répartition des ligneux dans les failles, les galeries forestières et les 4 régions géographiques de l'inventaire (Ft : faille à écoulement temporaire, Fp : faille à écoulement permanent, Gt : Galerie à écoulement temporaire, Gp : Galerie à écoulement permanent, Sa : Savane avoisinante, Nouvelle : nouvelle mention pour le Mali)

Famille	Taxon	Ft	Fp	Gt	Gp	Sa	Bafing	Manding.	Baoulé	Sikasso	Nouvelle
MALPIGHIACEAE	Acridocarpus chevalieri Sprague	x	x				x	x			
FABACEAE	Afzelia africana Sm. ex Pers.		x	x		x	x	x	x	x	
FABACEAE	Albizia glaberrima (Schumach. & Thonn.) Benth.	x		x			x	x	x		
FABACEAE	Albizia zygia (DC.) J.F.Macbr.		x	x			x			x	
EUPHORBIACEAE	Alchornea cordifolia (Schumach. & Thonn.) Müll.Arg.			x			x		x	x	
APOCYNACEAE	Acylobotrys amoena Hua		x		x		x	x	x		
FABACEAE	Andira inermis (W.Wright) DC.		x					x			
COMBRETACEAE	Anogeissus leiocarpa (DC.) Guill. & Perr.	x	x	x		x	x	x	x	x	
GENTIANACEAE	Anthocleista djalensis A.Chev.		x	x			x	x		x	
GENTIANACEAE	Anthocleista procera Lepr. ex Bureau			x	x					x	x
FABACEAE	Anthonotha crassifolia (Baill.) J.Léonard		x	x		x	x	x	x	x	
EUPHORBIACEAE	Anthostema senegalense A.Juss.		x	x	x		x	x	x	x	
MORACEAE	Antiaris toxicaria Lesch. var. africana Scott-Elliot ex A.Chev.	x	x				x				
EUPHORBIACEAE	Antidesma venosum E.Mey. ex Tul.		x	x			x		x	x	
CELASTRACEAE	Apodostigma pallens (Planch. ex Oliv.) R.Wilczek	x					x				
APOCYNACEAE	Baissea multiflora A.DC.		x	x	x		x	x	x	x	
FABACEAE	Berlinia confusa Hoyle				x				x		
FABACEAE	Berlinia grandiflora (Vahl) Hutch. & Dalziel		x	x			x	x	x	x	
BOMBACACEAE	Bombax costatum Pellegr. & Vuill.	x	x	x		x	x	x	x	x	
CAPPARACEAE	Boscia angustifolia A.Rich.	x		x			x				
RUBIACEAE	Breonadia salicina (Vahl) Hepper & J.R.I.Wood				x					x	
EUPHORBIACEAE	Bridelia ferruginea Benth.		x	x	x	x	x	x	x		
EUPHORBIACEAE	Bridelia micrantha (Hochst.) Baill.		x					x			
OCHNACEAE	Campylospermum glaberrimum (P.Beauv.) Farron		x							x	
OCHNACEAE	Campylospermum squamosum (DC.) Farron		x	x			x	x	x		
MELIACEAE	Carapa procera DC.		x	x	x		x	x	x	x	
RHIZOPHORACEAE	Cassipourea congoensis DC.				x				x	x	
BOMBACACEAE	Ceiba pentandra (L.) Gaertn.		x	x	x		x	x	x	x	
ULMACEAE	Celtis toka (Forssk.) Hepper & J.R.I.Wood	x		x			x				
OLEACEAE	Chionanthus niloticus (Oliv.) Stearn		x	x	x		x	x		x	
RUTACEAE	Clausena anisata (Willd.) Hook.f. ex Benth.				x				x		
STERCULIACEAE	Cola cordifolia (Cav.) R.Br.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Famille	Taxon	Ft	Fp	Gt	Gp	Sa	Bafing	Manding.	Baoulé	Sikasso	Nouvelle
STERCULIACEAE	Cola laurifolia Mast.				X		X		X	X	
COMBRETACEAE	Combretum tomentosum G.Don	X	X			X	X	X	X		
BORAGINACEAE	Cordia myxa L.		X			X	X	X			
RUBIACEAE	Craterispermum laurinum (Poir.) Benth.		X	X			X	X		X	
EUPHORBIACEAE	Croton gratissimus Burch. var. gratissimus		X				X	X			
EUPHORBIACEAE	Croton pseudopulchellus Pax		X				X	X			
ARALIACEAE	Cussonia arborea Hochst. ex A.Rich.		X	X		X		X	X		
FABACEAE	Cynometra vogelii Hook.f.				X		X	X	X		
SAPINDACEAE	Deinbollia pinnata (Poir.) Schumach. & Thonn.	X					X				
FABACEAE	Dialium guineense Willd.				X		X		X	X	
EBENACEAE	Diospyros ferrea (Willd.) Bakh.		X	X			X	X	X	X	
EBENACEAE	Diospyros elliotii (Hiern) F.White				X				X	X	
EBENACEAE	Diospyros mespiliformis Hochst. ex A.DC.		X	X	X	X	X	X	X	X	
FLACOURTIACEAE	Dissomeria crenata Hook.f. ex Benth.				X				X		
CELASTRACEAE	Elachyptera parvifolia (Oliv.) N.Hallé	X					X				
ARECACEAE	Elaeis guineensis Jacq.		X	X			X	X	X		
FABACEAE	Entada wahlbergii Harv.		X				X				
FABACEAE	Erythrophleum suaveolens (Guill. & Perr.) Brenan		X	X	X		X	X	X		
ERYTHROXYLACEAE	Erythroxylum emarginatum Thonn.		X					X			
MYRTACEAE	Eugenia nigerina A.Chev.				X				X		
RUBIACEAE	Feretia apodanthera Delile	X	X			X	X	X			
MORACEAE	Ficus abutilifolia (Miq.) Miq.	X	X				X	X			
MORACEAE	Ficus capreifolia Delile			X	X		X				X
MORACEAE	Ficus cordata Thunb. subsp. lecardii (Warb.) C.C.Berg	X	X				X	X			
MORACEAE	Ficus glumosa Delile	X	X			X	X				
MORACEAE	Ficus natalensis Hochst.		X				X	X			
MORACEAE	Ficus scott-elliotii Mildbr. & Burret		X				X	X	X		
MORACEAE	Ficus sur Forssk.		X	X	X	X	X	X	X	X	
MORACEAE	Ficus trichopoda Baker		X		X		X	X	X	X	
MORACEAE	Ficus umbellata Vahl		X				X	X			X
MORACEAE	Ficus vallis-choudae Delile		X	X			X	X			
FLACOURTIACEAE	Flacourtia indica (Burm.f.) Merr.			X		X	X		X	X	
CLUSIACEAE	Garcinia afzelii Engl.		X				X		X	X	X
CLUSIACEAE	Garcinia livingstonei T.Anderson				X		X		X	X	

Famille	Taxon	Ft	Fp	Gt	Gp	Sa	Bafing	Manding.	Baoulé	Sikasso	Nouvelle
CLUSIACEAE	Garcinia ovalifolia Oliv.		x	x			x	x	x	x	
RUBIACEAE	Gardenia imperialis K.Schum.		x	x				x		x	
RUBIACEAE	Gardenia sokotensis Hutch.	x	x				x	x			
FABACEAE	Gilletiodendron glandulosum (Portères) J.Léonard	x					x				
TILIACEAE	Grewia lasiodiscus K.Schum.	x	x			x	x	x			
FABACEAE	Guibourtia copallifera Benn.		x					x			
HERNANDIACEAE	Gyrocarpus americanus Jacq.	x					x				
HYPERICACEAE	Harungana madagascariensis Lam. ex Poir.		x		x		x	x	x	x	
OLACACEAE	Heisteria parvifolia Sm.		x				x				x
ANNONACEAE	Hexalobus monopetalus (A.Rich.) Engl. & Diels	x	x			x	x	x	x	x	
MALVACEAE	Hibiscus sterculiifolius (Guill. & Perr.) Steud.		x	x			x	x	x		
FLACOURTIACEAE	Homalium letestui Pellegr.		x				x				x
EUPHORBIACEAE	Hymenocardia heudelotii Müll.Arg.		x	x	x	x	x		x	x	
RUBIACEAE	Ixora brachypoda DC.		x				x	x	x	x	
RUBIACEAE	Keetia cornelia (Cham. & Schltdl.) Bridson		x	x	x		x	x	x	x	
RUBIACEAE	Keetia multiflora (Schumach. & Thonn.) Bridson		x				x	x			
RUBIACEAE	Keetia venosa (Oliv.) Bridson		x	x	x		x	x	x	x	
MELIACEAE	Khaya senegalensis (Desr.) A.Juss.		x	x	x	x	x	x	x	x	
SAPINDACEAE	Lecaniodiscus cupanioides Planch.	x	x				x		x	x	x
SAPINDACEAE	Lepisanthes senegalensis (Juss. ex Poir.) Leenh.						x				
RUBIACEAE	Leptactina senegambica Hook.f.	x					x				
CELASTRACEAE	Loeseneriella africana (Willd.) N.Hallé	x					x				
RUBIACEAE	Macrosphyra longistyla (DC.) Hiern		x	x	x		x	x	x	x	
SAPOTACEAE	Manilkara obovata (Sabine & G.Don) J.H.Hemsl.		x	x		x	x	x	x		
EUPHORBIACEAE	Margaritaria discoidea (Baill.) G.L.Webster		x	x	x			x	x		
SAPOTACEAE	Mimusops kummel Bruce ex A.DC.		x	x	x		x	x		x	
RUBIACEAE	Mitragyna inermis (Willd.) K.Schum.		x		x	x	x	x			
ANNONACEAE	Monanthotaxis parvifolia (Oliv.) Verdc.		x				x			x	
RUBIACEAE	Morelia senegalensis A.Rich. ex DC.		x	x	x		x	x	x	x	
RUBIACEAE	Morinda geminata DC.		x	x			x	x			x
LOGANIACEAE	Mostuea hymnenocardioides Hutch. & Dalziel				x				x		x
MORACEAE	Myrianthus serratus (Trécul) Benth. & Hook.				x				x		
OCHNACEAE	Ochna afzelii R.Br. ex Oliv.				x		x				x
OCHNACEAE	Ochna rhizomatosa (Tiegh.) Keay		x	x	x		x		x		

Famille	Taxon	Ft	Fp	Gt	Gp	Sa	Bafing	Manding.	Baoulé	Sikasso	Nouvelle
OCHNACEAE	Ochna schweinfurthiana F.Hoffm.			X	X					X	
OLACACEAE	Olax subscorpioidea Oliv.			X	X				X	X	
OPILIACEAE	Opilia amentacea Roxb.		X	X	X		X	X	X	X	
PANDANACEAE	Pandanus candelabrum P.Beauv.		X		X		X	X		X	
CHRYSOBALANACEAE	Parinari congensis Didr.				X				X	X	
SAPINDACEAE	Paullinia pinnata L.		X	X	X		X		X		
RUBIACEAE	Pavetta corymbosa (DC.) F.N.Williams var. corymbosa			X						X	X
CLUSIACEAE	Pentadesma butyracea Sabine		X	X	X			X		X	
FABACEAE	Pericopsis laxiflora (Benth.) Meeuwen		X	X		X		X	X	X	
FABACEAE	Piliostigma thonningii (Schumach.) Milne-Redh.	X	X	X		X	X	X	X	X	
SAPOTACEAE	Pouteria alnifolia (Baker) Roberty	X	X				X	X	X	X	
RUBIACEAE	Psychotria psychotrioides (DC.) Roberty		X	X				X	X	X	
RUBIACEAE	Psychotria rufipilis De Wild.			X				X			X
RUBIACEAE	Psychotria vogeliana Benth.			X					X	X	
RUBIACEAE	Psydrax parviflora (Afzel.) Bridson		X					X			X
RUBIACEAE	Psydrax schimperiana (A.Rich.) Bridson	X	X					X			
FABACEAE	Pterocarpus erinaceus Poir.			X	X	X	X	X	X	X	
FABACEAE	Pterocarpus santalinoides L'Hér. ex DC.		X	X	X		X		X	X	
ARECACEAE	Raphia sudanica A.Chev.		X		X		X	X	X	X	
APOCYNACEAE	Rauvolfia vomitoria Afzel.			X						X	
RUBIACEAE	Rothmannia whitfieldii (Lindl.) Dandy			X			X	X			
RUBIACEAE	Rytigynia senegalensis Blume		X	X			X		X		
RUBIACEAE	Rytigynia umbellulata (Hiern) Robyns		X	X	X				X	X	X
APOCYNACEAE	Saba senegalensis (A.DC.) Pichon		X	X	X	X	X	X	X	X	
RUBIACEAE	Sarcocephalus latifolius (Sm.) E.A.Bruce	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
RUBIACEAE	Sarcocephalus pobeguini Pobeg.				X		X		X		X
RUBIACEAE	Sericanthe chevalieri (K.Krause) Robbr.	X					X				
PASSIFLORACEAE	Smeathmannia laevigata Sol. ex R.Br.	X	X				X	X			X
ANACARDIACEAE	Sorindeia juglandifolia (A.Rich.) Planch. ex Oliv.		X				X			X	
ANACARDIACEAE	Spondias mombin L.	X	X				X	X			
STERCULIACEAE	Sterculia tragacantha Lindl.		X				X	X			
SAPOTACEAE	Synsepalum passargei (Engl.) T.D.Penn.		X				X	X			X
SAPOTACEAE	Synsepalum pobeguianum (Pierre ex Lecomte) Aké Assi & L.Gaut.	X	X			X	X	X	X	X	

Famille	Taxon	Ft	Fp	Gt	Gp	Sa	Bafing	Manding.	Baoulé	Sikasso	Nouvelle
MYRTACEAE	Syzygium guineense (Willd.) DC. subsp. guineense		x	x	x		x	x	x	x	
DILLENIACEAE	Tetracera alnifolia Willd.		x	x			x	x	x	x	
RUBIACEAE	Tricalysia okelensis Hiern		x	x	x		x	x		x	
EUPHORBIACEAE	Uapaca guineensis Müll.Arg.		x	x	x			x		x	x
EUPHORBIACEAE	Uapaca heudelotii Baill.		x	x	x		x		x		
ANNONACEAE	Uvaria chamae P.Beauv.		x	x	x		x	x	x		
RUTACEAE	Vepris heterophylla (Engl.) Letouzey	x	x				x	x			
ASTERACEAE	Vernonia colorata (Willd.) Drake		x	x	x		x	x	x	x	
VERBENACEAE	Vitex doniana Sweet		x	x			x	x	x	x	
APOCYNACEAE	Voacanga africana Stapf		x	x	x				x	x	
ANNONACEAE	Xylopia aethiopica (Dunal) A.Rich.		x	x			x				x
ANNONACEAE	Xylopia parviflora (A.Rich.) Benth.		x	x	x		x	x		x	
SAPINDACEAE	Zanha golungensis Hiern		x				x	x			
RUTACEAE	Zanthoxylum zanthoxyloides (Lam.) Zepern. & Timler		x	x		x	x			x	

Les analyses suivantes s'appuient sur le tableau 13 dans lequel nous distinguons les taxons rencontrés exclusivement dans les forêts humides (failles et galeries forestières) de ceux que nous rencontrons conjointement dans la savane avoisinante. La distribution des différentes familles est synthétisée dans le tableau 14.

Tableau 14. Répartition des familles botanique pour les ligneux (A: tous les taxons ; B: en excluant les espèces de la savane avoisinante)

A. Tous les taxons			B. Hors espèces de savane		
Famille	N	%	Famille	N	%
RUBIACEAE	27	18.4%	RUBIACEAE	24	20.0%
FABACEAE	17	11.6%	FABACEAE	12	10.0%
MORACEAE	12	8.2%	MORACEAE	10	8.3%
EUPHORBIACEAE	11	7.5%	EUPHORBIACEAE	9	7.5%
SAPOTACEAE	5	3.4%	SAPINDACEAE	5	4.2%
SAPINDACEAE	5	3.4%	OCHNACEAE	5	4.2%
OCHNACEAE	5	3.4%	APOCYNACEAE	4	3.3%
APOCYNACEAE	5	3.4%	ANNONACEAE	4	3.3%
ANNONACEAE	5	3.4%	CLUSIACEAE	4	3.3%
CLUSIACEAE	4	2.7%	SAPOTACEAE	3	2.5%
STERCULIACEAE	3	2.0%	CELASTRACEAE	3	2.5%
RUTACEAE	3	2.0%	STERCULIACEAE	2	1.7%
CELASTRACEAE	3	2.0%	EBENACEAE	2	1.7%
FLACOURTIACEAE	3	2.0%	RUTACEAE	2	1.7%
EBENACEAE	3	2.0%	ARECACEAE	2	1.7%
ARECACEAE	2	1.4%	ANACARDIACEAE	2	1.7%
COMBRETACEAE	2	1.4%	FLACOURTIACEAE	2	1.7%
ANACARDIACEAE	2	1.4%	GENTIANACEAE	2	1.7%
OLACACEAE	2	1.4%	OLACACEAE	2	1.7%
BOMBACACEAE	2	1.4%	MYRTACEAE	2	1.7%
GENTIANACEAE	2	1.4%	VERBENACEAE	1	0.8%
MYRTACEAE	2	1.4%	MALPIGHIACEAE	1	0.8%
MELIACEAE	2	1.4%	MALVACEAE	1	0.8%
VERBENACEAE	1	0.7%	MELIACEAE	1	0.8%
MALPIGHIACEAE	1	0.7%	CAPPARACEAE	1	0.8%
MALVACEAE	1	0.7%	LOGANIACEAE	1	0.8%
LOGANIACEAE	1	0.7%	BOMBACACEAE	1	0.8%
BORAGINACEAE	1	0.7%	HYPERICACEAE	1	0.8%
HYPERICACEAE	1	0.7%	OLEACEAE	1	0.8%
HERNANDIACEAE	1	0.7%	OPILIACEAE	1	0.8%
DILLENACEAE	1	0.7%	PANDANACEAE	1	0.8%
OLEACEAE	1	0.7%	PASSIFLORACEAE	1	0.8%
OPILIACEAE	1	0.7%	RHIZOPHORACEAE	1	0.8%
PANDANACEAE	1	0.7%	HERNANDIACEAE	1	0.8%
PASSIFLORACEAE	1	0.7%	DILLENACEAE	1	0.8%
RHIZOPHORACEAE	1	0.7%	ASTERACEAE	1	0.8%
CAPPARACEAE	1	0.7%	CHRYSOBALANACEAE	1	0.8%
ARALIACEAE	1	0.7%	ERYTHROXYLACEAE	1	0.8%
ASTERACEAE	1	0.7%	ULMACEAE	1	0.8%
ERYTHROXYLACEAE	1	0.7%			
CHRYSOBALANACEAE	1	0.7%			
TILIACEAE	1	0.7%			
ULMACEAE	1	0.7%			
Total	147	100.0%	Total	120	100.0%

Cette distribution montre la prépondérance de la famille des Rubiaceae majoritairement représentée par des arbustes du sous-bois et des arbustes sarmenteux. Cette famille apparaît comme un excellent indicateur de ces milieux humides. Cependant et parallèlement, elle est

mal déterminée et nous avons eu beaucoup de difficultés à déterminer tous les taxons représentatifs en utilisant les clefs actuelles. De ce fait nous avons encore plusieurs espèces non identifiées à l'espèce qui portent des numéros de regroupement et qui ne sont pas inclus dans cette analyse.

La répartition des espèces par milieu (cf. tableau 13) montrent plusieurs particularités de la flore des forêts humides des failles et des galeries (tableau 15).

Tableau 15. Distribution et spécificité des espèces pour chaque milieu (Ft : faille à écoulement temporaire, Fp : faille à écoulement permanent, Gt : Galerie à écoulement temporaire, Gp : Galerie à écoulement permanent, Sa : Savane avoisinante).

	Ft	Fp	Gt	Gp	Sa	Total
Nb espèces Total	33	107	76	61	27	147
% espèces Total	22.4%	72.8%	51.7%	41.5%	18.4%	100.0%
Nb espèces hors savane	22	82	57	51	-	120
% espèces hors savane	18.3%	68.3%	47.5%	42.5%	-	100.0%
Nb espèces exclusives	8	22	6	16	-	-
% espèces exclusives	24.2%	20.6%	7.9%	26.2%	-	-

Sur les 147 taxons principaux inventoriés dans ces milieux, seulement 27 (18.4%) se rencontrent parallèlement dans la savane avoisinante ce qui dénote d'une profonde originalité de ces forêts humides vis-à-vis de la végétation bioclimatique (reliée à la pluviométrie) et d'une rupture franche entre les flores de ces deux milieux juxtaposés

Les failles à écoulement temporaires (Ft) apparaissent comme les peuplements forestiers les plus pauvres de nos inventaires avec seulement 33 espèces recensées dont 1/3 sont des espèces communes avec la savane. Par ailleurs 8 espèces, soit environ 24% sont exclusivement inféodées à ces milieux rocheux qui subissent des fortes contraintes mécaniques durant les périodes des hautes eaux. Dans nos inventaires, ces 8 espèces exclusives se rencontrent exclusivement dans la région du Bafing. Il s'agit de : *Apodostigma pallens*, *Deinbollia pinnata*, *Elachyptera parvifolia*, *Gilletiodendron glandulosum* (endémique Mali), *Gyrocarpus americanus*, *Leptactina senegambica*, *Loeseneriella africana*, *Psydrax schimperiana*, *Sericanthe chevalieri*. Dans cette région, l'espèce endémique du Mali, *G. glandulosum* représente l'espèce la plus abondante et la plus indicatrice de ces milieux.

Les failles à écoulement permanent (Fp) représentent les milieux les plus riches de nos inventaires avec 107 espèces recensées dont 23% environ appartiennent à la savane avoisinante. En revanche et proportionnellement ces milieux sont caractérisés par moins d'espèces exclusives (20.6%) dont les plus caractéristiques sont *Croton gratissimus* var. *gratissimus*, *Croton pseudopulchellus*, *Erythroxylum emarginatum*, *Ficus natalensis*, *Garcinia afzelii*, *Guibourtia copallifera*, *Heisteria parvifolia*, *Homalium letestui*, *Ixora brachypoda*, *Sorindeia juglandifolia*, *Sterculia tragacantha*, *Synsepalum passargei*, *Zanha golungensis*.

Les deux types de galeries (Gt et Gp) ont une richesse spécifique à peu près comparable dès lors que l'on exclut les espèces des savanes. On remarque que ces dernières sont plus imbriquées dans les galeries à écoulement temporaire (1/4 des espèces coexistent dans la savane avoisinante) probablement en raison de leur tolérance accrue à la sécheresse. Par ailleurs les galeries à écoulement temporaire ne contiennent qu'une faible proportion d'espèces exclusives (< 8%) qui sont tous des arbustes du sous-bois : *Alchornea cordifolia*, *Pavetta corymbosa* var. *corymbosa*, *Psychotria rufipilis*, *Psychotria vogeliana*, *Rauwolfia vomitoria*, *Rothmannia whitfieldii*. Au contraire, les galeries à écoulement permanent contiennent la plus grande proportion d'espèces exclusives de notre inventaire. Ces espèces sont donc dépendantes d'une disponibilité hydrique permanente ainsi que d'une couche humifère directement accessible au système racinaire. Elles sont directement inféodées aux forêts humides sempervirentes guinéennes et congolaises situées plus au Sud sous un climat

équatorial. Ces espèces exclusives sont par ailleurs très abondantes dans ces milieux telles que *Cassipourea congoensis*, *Cola laurifolia*, *Myrianthus serratus*, *Parinari congensis*, *Cynometra vogelii*, *Garcinia livingstonei*, *Dialium guineense*, *Diospyros heudelotii*, *Sarcocephalus pobeguinii*.

Les appariements floristiques entre les différents milieux, calculés comme le pourcentage d'espèces communes, sont exprimés sur les graphiques de la figure 19.

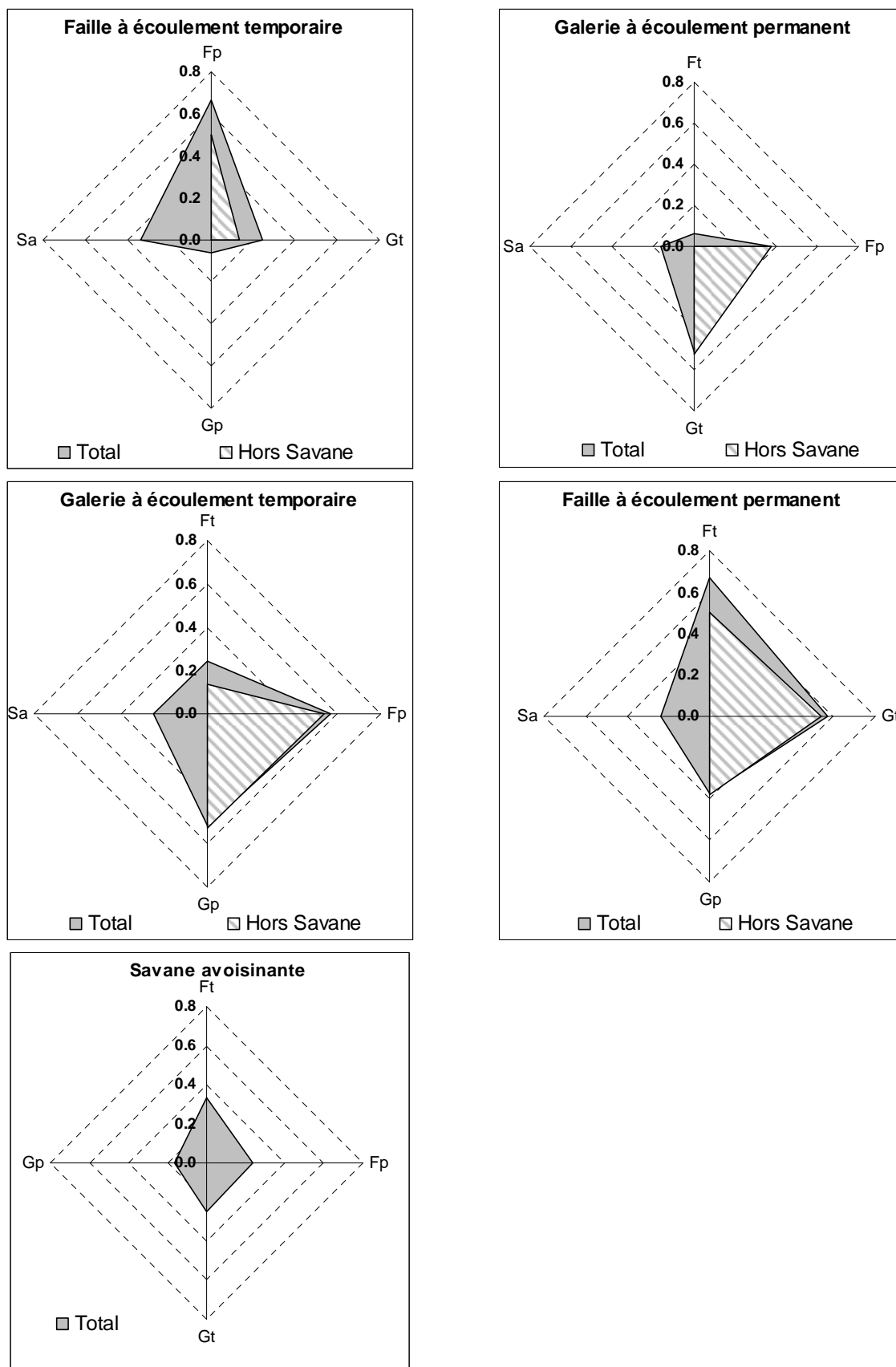
Les failles à écoulement temporaire (Ft) sont floristiquement appariées aux failles à écoulement permanent (Fp) tandis qu'elles diffèrent radicalement des galeries à écoulement permanent (Gp). Seuls les taxons de la savane établissent un lien avec les galeries à écoulement permanent. En ne considérant que la flore humide, l'affinité floristique est orientée sur les failles. Le substrat rocheux est dans ce cas le déterminant principal de la ségrégation floristique.

De la même manière, les galeries à écoulement permanent (Gp) sont principalement apparentées aux galeries à écoulement temporaire (Gt) et aux failles à écoulement permanent (Fp) tandis qu'elles diffèrent radicalement des failles à écoulement temporaire (Ft). Sans la flore de la savane il n'existe plus aucun lien avec ces failles à écoulement temporaire. Dans ce cas, le substrat terreux et la disponibilité hydrique sont discriminants.

Les deux autres milieux humides (Gt, Fp) présentent un appariement floristique plus symétrique sans exclusion nette entre les flores. Ce motif reflète la plus forte richesse floristique de ces deux milieux de sorte que l'on peut les considérer comme situés au centre de l'intersection des différentes flores humides ; ce qui explique en conséquence, leur richesse spécifique (= superposition des flores). Ils agissent ainsi comme des réservoirs de la diversité floristique. En revanche, il est étonnant de constater que les galeries à écoulement temporaire (Gt) sont finalement plus appariées aux milieux à disponibilité hydrique permanente (Gp, Fp) qu'aux failles à écoulement temporaire (Ft) et parallèlement que les failles à écoulement permanent (Fp) sont plus proches floristiquement des milieux à écoulement temporaire (Ft, Gt) que des galeries à écoulement permanent (Gp).

Les deux types de galeries partagent entre-elles plus de 50% de leur flore humide, le reste étant commun avec les failles à écoulement permanent. Le facteur hydrique est la principale variable discriminante.

Figure 19. Appariement floristique des milieux (Ft: faille à écoulement temporaire, Fp: faille à écoulement permanent, Gt: Galerie à écoulement temporaire, Gp: Galerie à écoulement permanent, Sa: Savane avoisinante)



La distribution des taxons selon les différentes régions est exprimée dans le tableau 16. Cette estimation est bien entendu dépendante de notre inventaire et nous devrons ultérieurement pondérer cette analyse par le poids de l'échantillonnage. La région du Bafing possède la plus grande richesse spécifique regroupant plus des ¾ de notre inventaire (avec ou sans les espèces de savanes) tandis que les autres régions recouvrent environ 50% de la flore totale de notre inventaire. La région du Bafing regroupe les 4 types de milieux et notamment une forte représentation des failles à écoulement temporaire et des galeries permanentes. On enregistre 18 taxons exclusifs dans cette région soit trois fois plus que dans les autres régions en valeur absolue et le double en valeur relative. A l'inverse, les monts Mandingues et la région de Sikasso ne possèdent pas, dans notre inventaire, de failles à écoulement temporaire ce qui explique en partie la plus faible richesse de ces échantillons. En revanche, la région du Baoulé qui ne présente que des galeries forestières, doit également être considérée comme un secteur relativement riche.

Tableau 16. Distribution et spécificité des taxons pour chaque région

	Bafing	Mandingues	Baoulé	Sikasso	Total
Nb espèces Total	114	90	79	74	147
% espèces Total	77.6%	61.2%	53.7%	50.3%	100.0%
Nb espèces hors savane	89	67	58	56	120
% espèces hors savane	74.2%	55.8%	48.3%	46.7%	100.0%
Nb espèces exclusives	18	7	6	6	0
% espèces exclusives	15.8%	7.8%	7.6%	8.1%	0.0%

Le recouvrement floristique entre les 4 régions de l'inventaire montre l'existence d'une relation liée à la proximité géographique (tableau 17). Ces relations sont plus marquées si on exclut les plantes de la savane avoisinante.

Cette connexion va dans le sens :

1. D'une relation entre les deux régions Nord (Bafing et Monts Mandingues) unies par leur socle gréseux, dans la continuité géologique des Monts du Fouta Djallon et de l'appartenance au bassin versant du fleuve Sénégal
2. D'une relation étroite entre les deux régions Sud (Baoulé et Sikasso) unies dans le bassin versant du fleuve Niger

Tableau 17. Coefficient d'appariement floristique entre les 4 régions (en gras : hors espèces de savanes)

	Bafing	Mandingues	Baoulé	Sikasso
Bafing		0.67 0.62	0.54 0.48	0.49 0.44
Mandingues	0.67 0.62		0.57 0.48	0.52 0.48
Baoulé	0.54 0.48	0.57 0.48		0.68 0.64
Sikasso	0.49 0.44	0.52 0.48	0.68 0.64	

Les premières analyses floristiques montrent qu'il existe une nette particularité de ces milieux humides de failles et de galeries forestières par rapport à la végétation bioclimatique des régions étudiées. Ces milieux fournissent une disponibilité hydrique supérieure à la pluviométrie locale, ce qui explique la spécificité de cette flore humide. Nous confirmons que ces zones d'écoulement forment des îlots dans lesquels se concentrent des taxons singuliers dont les aires de distribution sont connues plus au sud.

La durée de l'écoulement est une variable fondamentale dans la discrimination de ces milieux.

On reconnaît les milieux à écoulement temporaire qui sont caractérisés par une très forte augmentation de la disponibilité hydrique durant un court intervalle de temps. Ces crues violentes agissent comme un filtre à l'installation et au développement des ligneux. Dans les failles de ce type, on remarque que les seules espèces capables de se maintenir bénéficient d'une forte plasticité morphologique, telle que *Gilletiodendron glandulosum*, l'espèce endémique du Bafing qui produit chaque année, après le passage des hautes eaux des rejets verticaux vigoureux sur les axes et troncs couchés. Ces milieux sont marqués par une très forte spécificité mais parallèlement une faible diversité. Dans les galeries à écoulement temporaire, on ne rencontre aucun arbre dans la zone centrale, celle soumise à la violence du ruissellement. Tous les ligneux s'installent au niveau de la rupture de pente ce qui génère une compétition importante pour l'espace. Dans ces milieux, la dominance locale est très élevée et généralement la diversité au sein d'un même site est faible. On distingue à l'opposé les milieux à écoulement permanent qui sont plus stables en termes de ruissellement et dans lesquels la compétition est plus faible. Les failles de ce type sont propices à une forte diversité floristique étant donné que l'écoulement est généralement faible, permettant à une flore arbustive de sous-bois, très hydrophile de s'installer au centre de la zone de ruissellement. Les galeries à écoulement permanent regroupent les espèces ayant une affinité floristique avec la grande forêt sempervirente tropicale située plus au Sud. Elles forment un prolongement de ces flores vers le Nord mais ne constituent pas un réservoir floristique des autres milieux.

Le substrat est l'autre facteur discriminant de ces régions. Les régions situées au nord/ouest, le Bafing et les Monts Mandingues se situent sur les falaises gréseuses qui forment le prolongement du Fouta Djallon guinéen. Dans ces secteurs les *Ficus* spp. sont plus abondants, trouvant dans ces roches des socles favorables au développement de leur système racinaire. Mais c'est également le cas de plusieurs autres taxons qui bénéficient d'une grande plasticité notamment durant leur phase d'installation capable d'ancrer leur système racinaire entre les éboulis rocheux. Au contraire, sur le substrat terreux des galeries forestières, on rencontre surtout les espèces dont le développement est plus conforme à une flore forestière et qui nécessitent une zone humifère pour s'installer et se développer. En couplant ces différences, nos inventaires montrent que les zones du Bafing et des Monts Mandingues apparaissent comme les secteurs les plus riches floristiquement regroupant plus des deux tiers des taxons de notre inventaire tandis que les secteurs Sud, du Baoulé et de Sikasso ne regroupent que la moitié des taxons rencontrés.

Même si la rupture entre ces milieux humides et la savane avoisinante est nette floristiquement on reconnaît tout de même quelques incursions de la flore bioclimatique dans ces îlots forestiers. La fragmentation liée aux activités d'origine anthropique est très nettement à l'origine de cette interpénétration des flores qui agit dans un seul sens. Lorsqu'un arbre est coupé ou brûlé, la canopée est brutalement ouverte laissant pénétrer le soleil et la sécheresse qui transforment ce milieu ombrophile en une zone plus aride. La flore du sous-bois est éliminée et les espèces de la savane avoisinante deviennent nettement plus compétitives dans la recolonisation de ces sites. Nous ignorons si cette phase est transitoire et si ces espèces xérophiles jouent le rôle de cicatrisant au même titre que les espèces pionnières qui participent à la fermeture des chablis en forêt tropicale humide.

5. Résultats Génétiques

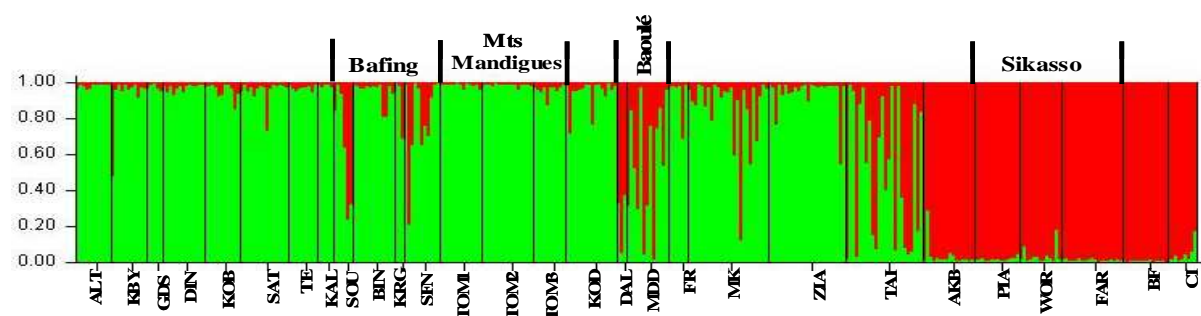
5.1 Génétique de *Praomys rostratus*

L'étude des marqueurs microsatellites a montré que la diversité génétique est importante au sein des populations de *Praomys rostratus* : le nombre d'allèles varie de 15 à 66 selon les locus (ensemble des populations) et entre 2 à 22 par population et par locus (moyenne $8,6 \pm 3,8$). La richesse allélique, qui mesure cette diversité en se basant sur le nombre d'allèles par population et par locus corrigé par l'effectif minimum du jeu de données (minimum 8 individus), est compris entre 4,39 allèles en moyenne sur l'ensemble des 9 loci, pour la population du Burkina Faso, et 8,99 allèles pour la population du Mont Ziam (ZIA) en Guinée. L'hétérozygotie observée par population varie, en moyenne sur les 9 loci, de 0,61 à 0,91 (moyenne $0,77 \pm 0,07$).

Les marqueurs microsatellites ont montré une différenciation génotypique significative entre la majorité des populations, notamment entre toutes celles des quatre régions du Sud Mali. Les F_{st} entre paires de populations varient de 0,003 (entre FR et ZIA, deux localités proches de Guinée) et 0,237 (entre SOU et BF, au nord de la distribution).

Une étude de la structuration de la diversité génétique a été conduite sur l'ensemble des échantillons. Cette étude permet d'assigner les différents individus à des groupes génétiques, indépendamment de leur origine géographique. Il apparaît que la subdivision de l'échantillonnage en 2 groupes explique le mieux la diversité génétique du jeu de données (figure 20). Les localités les plus à l'Est de la distribution sont associées sans ambiguïté au groupe rouge, y compris les localités du Sud Mali de la région de Sikasso (FAR, PIA, WOR). Les localités les plus à l'Ouest (Sénégal, Guinée Ouest, Mali Ouest) sont assignées à un deuxième groupe génétique (vert). Il apparaît donc clairement que la diversité génétique chez *Praomys rostratus* se structure selon une distribution Ouest / Est. Les localités intermédiaires (région du Baoulé : MDD et DAL et Ouest de la Côte d'Ivoire : TAI), correspondent à un mélange génétique, plus ou moins important, entre les deux groupes génétiques. Ceci suggèrent des contacts (migration/flux de gènes) entre ces localités et les localités plus à l'Est. En revanche, les localités de l'Ouest semblent nettement plus isolées de l'Est, la proportion de génome assignée au groupe rouge dans ces localités est faible à très faible.

Figure 20. Assignment de chaque individu aux groupes génétiques représentés ici en rouge et vert. Les barres verticales représentent la proportion du génome des individus (groupés par localité) assignée à chaque groupe génétique. (Les codes des localités renvoient au tableau 2 et à la figure 10)



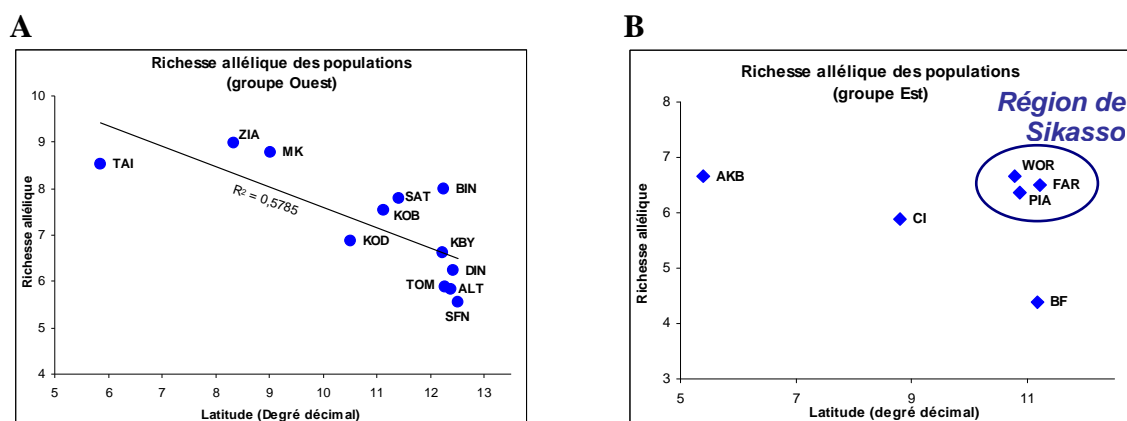
Ces deux groupes génétiques pourraient être liés à la divergence des populations isolées lors du dernier maximum glaciaire, dans les refuges forestiers identifiées dans chacune de ces régions géographiques. La structure génétique primaire chez *P. rostratus*, serait ici liée à la phylogéographie de l'espèce. Il est donc nécessaire d'étudier la diversité génétique indépendamment dans chacun de ces groupes, afin d'identifier un rôle potentiel de la fragmentation des forêts dans la zone du Sud Mali sur le fonctionnement des populations de ce rongeur.

Une analyse préliminaire montre que la diversité génétique (richesse allélique) est significativement plus faible ($P=0,002$; 10 000 permutations) dans les populations les plus au Nord (milieu *a priori* plus fragmenté) que dans les populations les plus au Sud (ZIA, TAI et

MK : forêt « continue »), dans le groupe « Ouest » (figure 21A). Les populations des Monts Mandingues, du Bafing et de la frontière sénégalaise seraient les plus affectées par une perte de diversité génétique, et seraient de ce fait les plus menacées. Une exception est notable : la population BIN du Bafing est très diversifiée, résultat qui pourrait être lié à la meilleure préservation de la forêt dans cette localité et/ou à des contacts récents avec des populations plus au sud via les réseaux hydrographiques.

En revanche, dans le groupe Est, on ne retrouve pas cette corrélation entre latitude et richesse allélique, la population la plus au Sud (AKB, Sud Côte d'Ivoire) ayant la même richesse allélique que celle de Woroni (WOR, Sud Mali, région de Sikasso, figure 21B). Ceci peut être mis en relation avec le maintien de surfaces forestières relativement importantes dans la région de Sikasso, avec des échanges génétiques entre sites, permettant taille efficace de population importante, et donc le maintien d'une diversité génétique forte. En revanche, la situation en extrême limite de distribution de la localité du Burkina Faso (BF) pourrait expliquer la faible diversité génétique observée. Dans ce même groupe Est, la localité la plus au Sud (AKB) présente une diversité génétique moindre que pour les localités du Sud du groupe Ouest. Là encore, la situation en limite Est de la distribution de l'espèce pourrait expliquer cette situation.

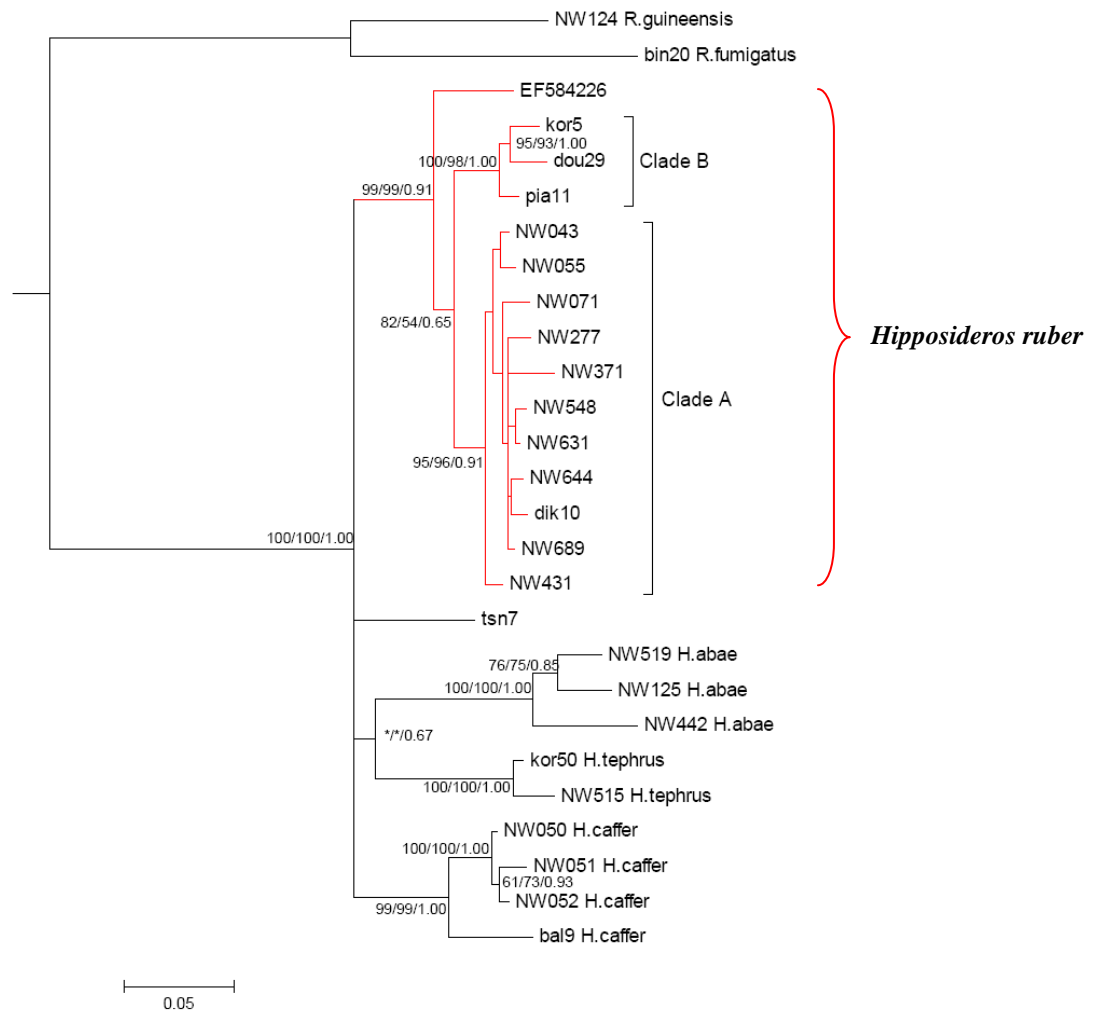
Figure 21. Richesse allélique des populations de *P. rostratus* ($N \geq 8$) le long d'un axe géographique Sud-Nord (A: groupe génétique "Ouest" ; B: groupe génétique "Est")



5.2 Génétique des chauves-souris

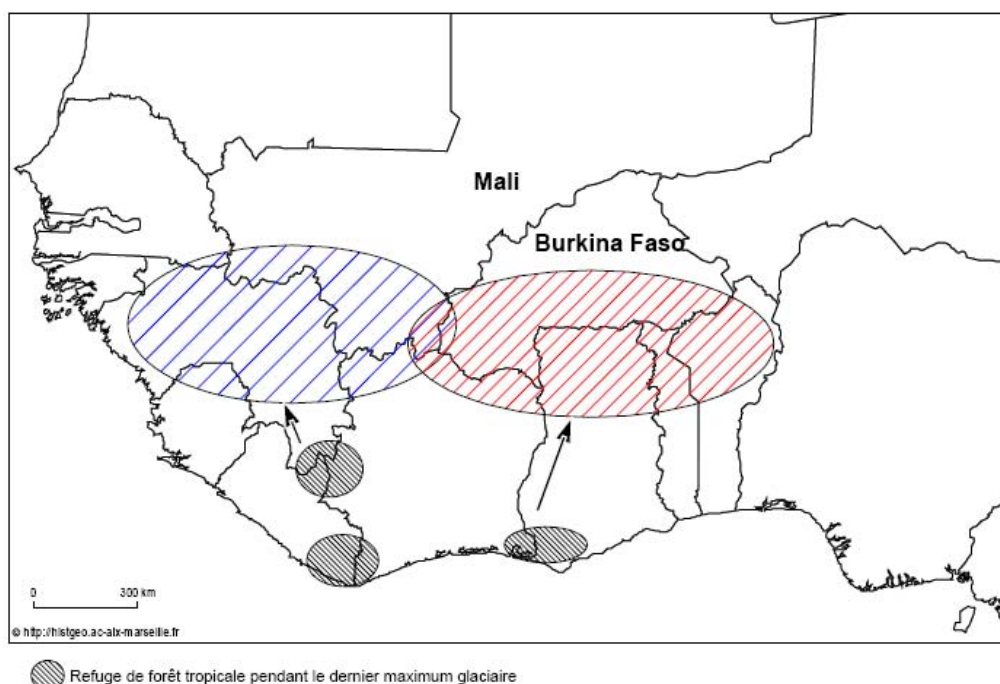
L'analyse phylogénétique des séquences obtenues dans l'échantillon d'espèces des chauves-souris ouest-africaines échantillonnées lors du présent projet a apporté quelques résultats intéressants : alors que la monophylie du genre *Rhinolophus* n'a pas été remise en cause par l'analyse, celle du genre *Hipposideros* l'a été du fait de l'inclusion de deux spécimens d'*H. vittatus*, qui se sont révélés génétiquement plus proches d'autres genres (en l'occurrence *Aselliscus* et *Coelops*) que des autres espèces d'*Hipposideros* (Chollet 2008). Dans le genre *Hipposideros*, l'analyse d'un ensemble de spécimens du complexe *ruber / caffer* a confirmé la distinction entre ces deux espèces, en suggérant que des lignées comme *H. abae* ou *H. tephurus* étaient à peu près au même stade de différenciation, ainsi que probablement d'autres lignées à préciser (comme celle représentée par le spécimen tsn7 sur la figure 22).

Figure 22. Phylogramme du complexe *H. caffer*/*H. ruber* basé sur le cytochrome b (1140pb) et la D-loop (590 pb) (les valeurs de bootstrap (%) >50) obtenues lors des analyses de MP, ML ainsi que les valeurs de probabilités postérieures de l'analyse Bayésienne sont indiquées à chaque nœud)



En ce qui concerne les analyses phylogéographiques, aucune structuration n'est apparue dans l'espèce *E. gambianus* à l'échelle géographique considérée (sud Mali et régions avoisinantes) et les distances génétiques entre échantillons se sont révélées faibles (1,6% en moyenne). Les résultats obtenus pour les tests de Tajima et de Fu sont congruents et indiquent une expansion démographique récente pour l'ensemble de l'échantillon, confirmée par l'analyse de « mismatch distributions ». Chez *H. ruber* en revanche, l'arbre le plus vraisemblable indique une faible structuration, avec la présence de deux clades relativement bien soutenus (figure 22). Le résultat du test de Tajima et la courbe de « mismatch distribution » (multimodale) indiquent une stabilité démographique, cependant le test de Fu est légèrement significatif. La signature d'expansion démographique n'est que faiblement soutenue, ce qui peut-être lié à la présence de plusieurs lignées dans cette espèce, qui auraient éventuellement pu se différencier à partir de refuges forestiers isolés pendant les périodes les plus arides du Quaternaire (figure 23).

Figure 23. Schéma de recolonisation possible d'*H. ruber* à partir des refuges forestiers (Plana, 2004)



5.3 Génétique du *Carapa*

Les huit microsatellites de *C. guianensis* ont été amplifiés avec succès sur les échantillons de *C. procera* et ont montré 111 allèles sur l'ensemble des populations soit 14 allèles par locus en moyenne. L'hétérozygotie espérée H_E est importante, 0,768 si toutes les populations sont prises en compte et varie peu entre les pays (0,55 à 0,765), étant donné les différences d'échantillonnage importantes entre les pays étudiés. Le Cameroun présente la plus forte diversité (tableau 18) avec un très grand nombre d'allèles par locus ($N_a=11,75$) et le plus grand nombre d'allèles privés ($N_b=3$).

Tableau 18. Paramètres génétiques des populations étudiées de *Carapa procera* (Ni: Nombre d'individus analysés ; Na: nombre moyen d'allèles par locus ; Ne: nombre efficace d'allèles, Nb: nombre d'haplotypes privés, HE: hétérozygotie espérée)

Population	Ni	Na	Ne	Nb	He
Sénégal	12	4.500	3.144	0.000	0.614
Mali	185	8.750	3.840	0.625	0.707
Burkina Faso	14	5.375	3.362	0.125	0.660
Gabon	10	5.125	2.956	0.375	0.550
Cameroun	48	11.750	5.760	3.000	0.765

La majorité de la diversité génétique se trouve à l'intérieur des pays. Cependant, une différenciation génétique significative est mise en évidence entre les 5 pays étudiés (figure 24). Une forte différenciation apparaît entre les populations d'Afrique Centrale et celles d'Afrique de l'Ouest comme cela est montré sur l'axe 1 de l'analyse en composantes principales réalisées à partir des distances génétiques de Nei entre les 5 populations (figure 25). L'axe 2 permet de distinguer les populations d'Afrique de l'ouest avec un gradient ouest-est.

Figure 24. Analyse de variance moléculaire : comparaison des populations de 5 pays (Sénégal, Mali, Cameroun, Gabon et Burkina Faso) (*) significatif à <1%)**

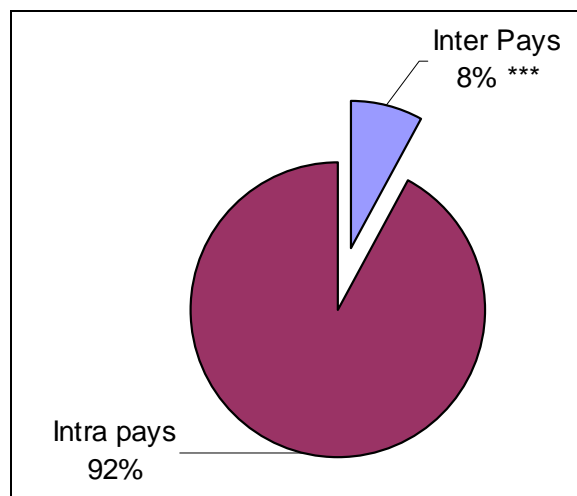
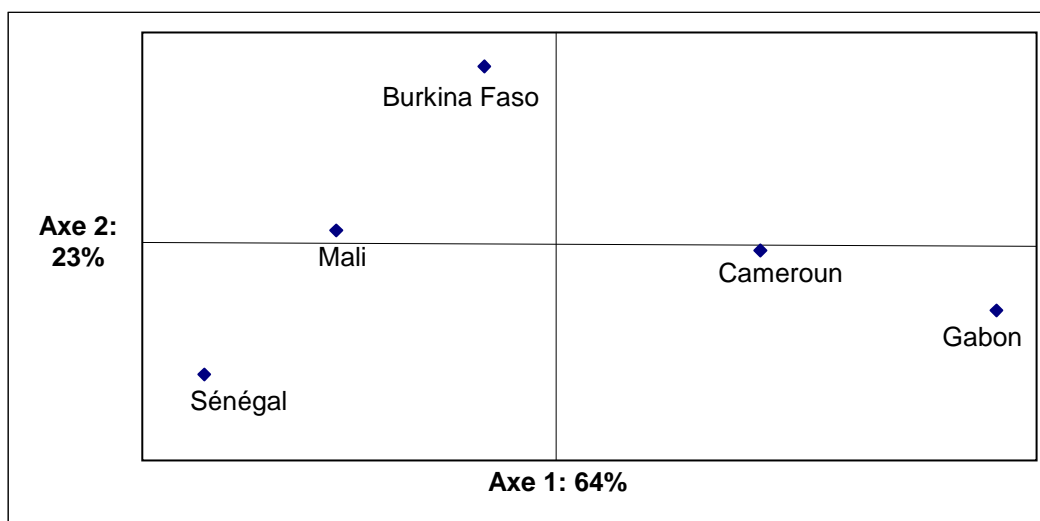


Figure 25. Analyse en composantes principales effectuée à partir des distances de Nei calculées entre les populations de 5 pays (Sénégal, Mali, Burkina Faso, Cameroun et Gabon)



A l'échelle régionale, une différenciation faible mais significative (2%) permet de distinguer les populations du nord Mali de celles du sud Mali et au niveau local, les populations de Farako de celles de Woroni (figures 26 et 27). Les populations du nord et du sud Mali se différencient selon un gradient nord-sud sans qu'il y ait une corrélation significative entre les distances génétiques et les distances géographiques (Figure 27).

Figure 26. Analyse de variance moléculaire : comparaison des populations de deux régions du Mali (2 populations au nord Mali et 7 populations au sud Mali), (***) significatif à <1%)

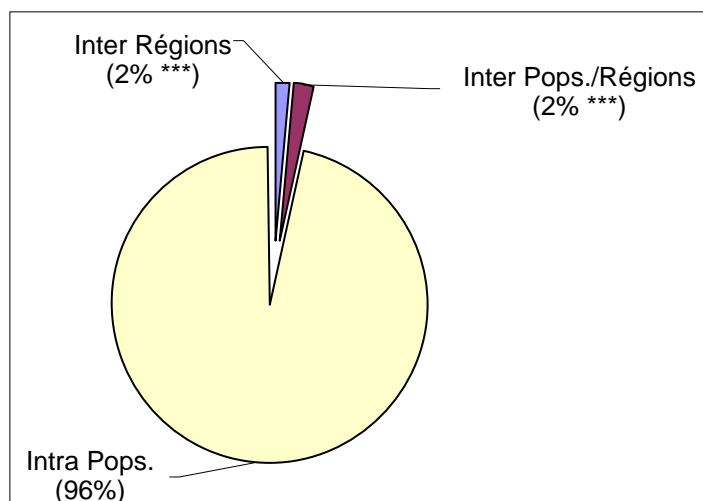
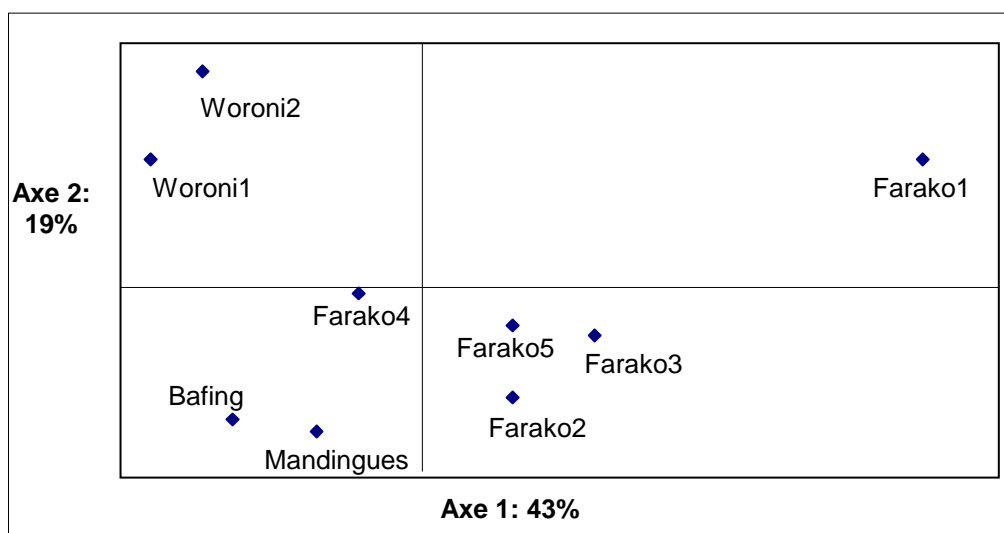
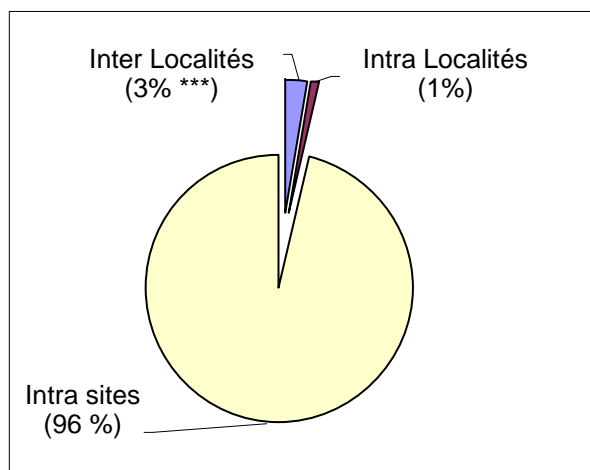


Figure 27. Analyse en composantes principales effectuée à partir des distances de Nei calculées entre les 9 populations du Mali



A l'échelle locale, la différenciation entre les populations de Farako et celles de Woroni est significative. En revanche, les populations d'une même localité ne sont pas significativement différentes (figure 28).

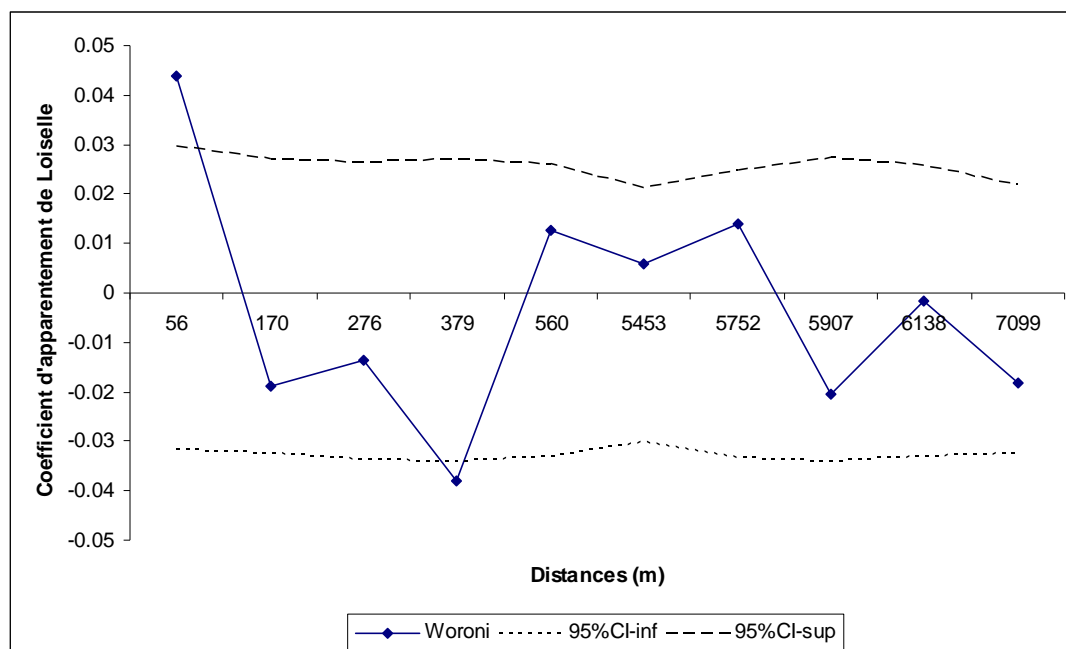
Figure 28. Analyse de variance moléculaire : comparaison des populations de deux localités du sud du Mali (Farako et Woroni), (*) significatif à <1% ; ns : non significatif)**

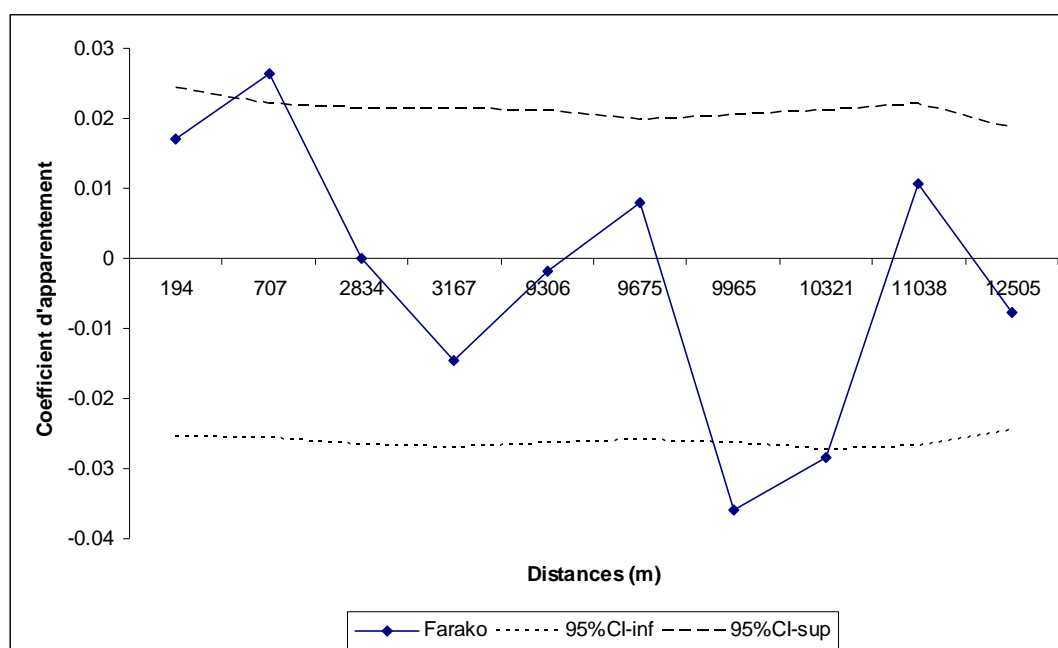


De même, il n'existe pas de relation significative entre le coefficient d'appariement de Loiselle calculé entre tous les individus par localité, à l'exception des individus distants de 56m à Woroni qui se ressemblent plus qu'attendu (figure 29).

Figure 29. Coefficient d'appariement de Loiselle entre les individus de Woroni (A) et Farako (B) en fonction de la distance géographique

A



B

En conclusion, une forte structure de la diversité génétique apparaît à la fois au niveau du pays, au niveau régional et au niveau des localités. En revanche, aucune différenciation génétique n'apparaît à l'échelle d'un site jusqu'à environ 12km.

6 et 7 . Résultats interactions Homme – Plante et valorisation

Les données d'enquête formelle concernent 11 villages (4 dans la région de Sikasso, 3 dans celle du Baoulé (Madina-Diassa) et 4 dans les Monts Mandingues), et des informations complémentaires ont été obtenues dans une douzième d'autres villages via une discussion ouverte dont les résultats ne sont pas présentés ci-après. L'extraction de l'huile de *Carapa procera* (Kobi) est encore pratiquée dans 7 villages (64%). Quatre villages (36%) ont abandonné la production d'huile de Kobi depuis presque 50 ans pour deux raisons principales : 1- l'accroissement de l'aridité a induit une raréfaction des ressources et 2- la disponibilité de substituts chimiques a rendu le processus laborieux de production locale d'huile de Kobi inutile. Dans les villages « non-productifs », la longueur des interviews a été limitée aux seules questions adéquates.

Au total, 81 personnes ont participé aux interviews, le nombre de participants par village allant de 3 à 12. Préalablement, le chef de village a été rencontré pour lui présenter notre projet, et organiser la rencontre avec les personnes concernées par la production d'huile de Kobi. Les discussions ont essentiellement concerné 53 femmes de tous âges, actuellement ou anciennement productrices d'huile, ou même qui avaient observé leur mère dans cette activité il y a longtemps. Les chefs de village ont systématiquement été intégrés aux discussions du fait de leur pouvoir de décision sur tous les projets éventuels de coopération à venir. Par ailleurs, 17 autres hommes, conseillers ou parents des chefs de village, planteurs ou jeunes intéressés par les questions relatives à l'environnement, ont participé aux discussions.

L'enquête a mis en évidence une variété d'utilisation des produits de *C. procera* sur nos sites d'étude (tableau 19). Il est à noter que 13 applications supplémentaires n'ont pas été listées ici car soit apparaissant à une seule reprise, soit paraissant plus ou moins fiables. Parmi ceux-ci est inclus l'utilisation d'huile de Kobi comme insecticide dans les plantations de coton, mentionné par un seul planteur. L'huile tirée des graines est la substance la plus utilisée, avant les feuilles, l'écorce et les racines de *Carapa*. Dans 46% des villages, un fréquent manque de ressource a été mentionné, associé à de grandes variations dans la quantité de graines disponibles avec seulement quelques bonnes années permettant de fournir des quantités

suffisantes de graines. 55% des villages ont signalé le changement d'importance traditionnelle de l'huile de Kobi du fait de l'introduction des médicaments et insecticides chimiques. Cependant, 91% considèrent les produits du *Carapa* comme importants à très importants, contre seulement 9% qui les estiment non- importants. Le bois de *C. procera* est en revanche très peu exploité : Seuls les troncs et branches mortes en sont collectés comme bois de chauffe, et rarement pour la construction.

Tableau 19. Utilisation des produits de *C. procera* dans 11 villages du sud Mali, à l'exclusion des usages rapports d'un seul village (soit 9 % des villages étudiés)

Produit utilisé	Utilisation	Distribution des utilisations (% de 11 villages)
Huile	- Traitement des piqûres d'insectes (en particulier mouche tsé-tsé) des animaux domestiques pour éviter les infections et éloigner les mouches	55
	- Lotion corporelle contre les blessures, maladies de peau et comme insectifuge	73
	- Médicament contre les maladies gastro-intestinales (en particulier les infections associées à des vers parasites)	64
	- Production de savon	64
	- Protection des cultures	18
Ecorce séchée	- Médicament contre les maladies gastro-intestinales (vers parasites)	18
Racines séchées	- Médicament contre les maladies gastro-intestinales (vers parasites)	18
Décoction de feuilles	- Bains contre la fatigue	18

L'espèce est présente à proximité de tous les villages concernés, et 82% d'entre eux ont pu préciser que ces populations de *Carapa* donnaient des fruits. Les arbres n'ont pas été comptés et leur quantité à proximité de chaque site d'étude est probablement très variable, toutefois tous les villages sauf un ont déploré la régression globale de *C. procera*. De plus, plusieurs villageois ont observé des pieds de *Carapa* qui fleurissaient mais ne donnaient pas de fruits ultérieurement, sans pouvoir l'expliquer. Les mesures de protection locale font la plupart du temps défaut, en particulier dans les villages les plus aisés, du fait de la croyance culturelle selon laquelle le maintien des ressources naturelles est sous la responsabilité de Dieu. Les quelques mesures prises étaient plutôt passives, comprenant la prévention des feux et des activités de déforestation près des rivières et des marigots. Un village a déclaré donner une grande importance à la protection des forêts riveraines dans le contexte de l'aridification, même si les zones concernées pourraient être consacrées aux cultures. Un autre village a expliqué protéger les forêts galeries par des feux précoces contrôlés, qui sont moins dommageables pour les arbres du fait de l'humidité résiduelle dans le sol et la végétation à la période concernée (tout début de saison sèche).

Toutes les populations de *C. procera* à proximité des villages étudiés étaient associées à des forêts galeries ou des forêts de faille, à des stades de conservation variés. Les plus sérieuses menaces pesant sur l'intégrité de ces habitats apparaissent être les feux incontrôlés et le manque d'eau. Une situation particulière a été rencontrée dans deux villages bordant la même forêt. Cette forêt galerie est distincte de tous les autres sites d'étude, du fait de la présence de très grands arbres. Les populations avoisinantes exploitent et dépendent des ressources naturelles de la forêt, mais ne sont pas impliquées dans l'exploitation commerciale du bois qui se fait sous couvert de l'état. Les résidents se plaignent de l'enlèvement excessif des grands arbres favorisant la dispersion des feux, et de leur non-participation aux prises de décisions.

La période de récolte des fruits de *C. procera* a été unanimement désignée comme correspondant au début de la saison des pluies, entre fin mai et juin. Les informations sur la quantité de graines collectées varient considérablement (entre 30 et 3600 litres, en équivalent-volume), mais la proportion de graines collectées par rapport aux graines disponibles est relativement constante : A une exception près, les villages produisant de l'huile collectent la totalité des graines mûres tombées au sol, n'en laissant pratiquement aucune sur les sites. En relation avec ces quantités variables de graines ramassées, les volumes d'huile produits varient entre 2 et 200 litres par village. Les années de bonne production de graines, la production peut doubler par rapport aux années de faible production, ces dernières devenant de plus en plus fréquentes d'après les villageois. Le prix de vente de l'huile de Kobi varie en proportion inverse de sa disponibilité, entre 1000 et 3000 Frs CFA / l. Dans certains villages non producteurs, les femmes achètent de l'huile lors de marchés urbains et la revendent en petite quantité dans leur village à un prix pouvant atteindre 10000 Frs CFA / l.

Depuis des générations, les graines sont collectées par les femmes, parfois accompagnées par leurs filles qui ainsi se forment à ces pratiques au contact de leurs mères et grand-mères. Il en est de même pour ce qui est du processus d'extraction d'huile, pour lequel nous avons identifié deux méthodes fondamentalement différentes (pouvant être mises en œuvre simultanément dans le même village). La différence principale intervient dans la deuxième étape de la production, après la phase de bouillage des graines : Certains producteurs passent alors directement à la phase d'extraction de l'huile, alors que d'autres enterrent les graines bouillies dans le sol pour une période allant de 5 jours à 6 mois avant de continuer le processus d'extraction. Cette dernière méthode est dictée par la nécessité de poursuivre d'autres activités agricoles, non reportables quant à elles. Malgré ces interférences et la fatigue associée à ce travail d'extraction de l'huile, plus de la moitié des villages concernés (54%) considèrent la production d'huile comme profitable à très profitable. 72% se sont ainsi déclarés intéressés voire très intéressés à monter une collaboration avec notre programme et les ONG Helvetas et Mobiom pour la période de récolte à venir, et pour vendre directement l'huile produite. Les discussions au sujet de la replantation de *C. procera* aux alentours des villages ont eu un écho très favorable ; 82% des villages s'étant déclarés prêts à participer à de telles activités. En plus de l'opportunité d'intervenir dans le marché du coton biologique, les villageois ont désigné comme motivations, le maintien des traditions et la conservation d'arbres utiles pour les générations futures.

PREMIERS ACQUIS EN TERMES DE TRANSFERT (METHODES, RECOMMANDATIONS)

Conservation et développement économique : le cas du Kobi au Mali

Les forêts galerie et forêts de faille constituent des ressources importantes pour les populations humaines adjacentes. En plus de représenter une source d'eau permanente et un microclimat clément, elles fournissent toute une gamme de produits vitaux depuis le bois jusqu'aux médicaments traditionnels. Les activités humaines influencent la composition de ces zones forestières, ainsi que leur extension. Les populations locales possèdent par ailleurs une grande expérience dans les pratiques traditionnelles relatives à l'utilisation des terres et des plantes « utiles ». De ce fait les études écologiques visant à orienter la protection de ces forêts et de la biodiversité qu'elles hébergent doivent prendre en compte les connaissances, perceptions et besoins des populations locales, et associer ces dernières aux prises de décision afférentes. Les communautés rurales du sud Mali dépendent essentiellement de l'agriculture de subsistance, de la forêt, et de petits revenus générés par leurs produits. La détérioration des conditions de vie de ces populations du fait de la dégradation de l'habitat et l'accroissement de l'aridité induit une pression supplémentaire sur les ressources forestières et les espèces de plantes utiles. Dans ce cadre, notre étude vise à mettre en exergue comment la combinaison de recherches scientifiques et de savoirs locaux peut permettre d'élaborer des stratégies de conservation applicables aux forêts du sud Mali. Pour cela nous avons utilisé, le *Carapa procera* (le Kobi en Bambara) comme une espèce modèle en nous efforçant de mettre en évidence les perceptions des populations locales par rapport aux produits tirés de cet arbre, en relation avec d'autres ressources forestières naturelles.

Démarré sur des fonds du programme Medd-Ecofor, ce projet est maintenant co-financé par Helvetas et une autre ONG malienne, Mobiom (Mouvement Biologique Malien), en charge de développer la culture du coton biologique en pleine essor au Mali (tableau 20). Pour 2008, l'opération devrait bénéficier à 5500 paysans maliens et produire 1.000 tonnes de coton biologique cette année, 1.500 tonnes en 2009 et 2300 tonnes en 2010 (projection helvetas)

Tableau 20. Le projet coton biologique en chiffres (période 2002-07) au Mali (source Helvetas, http://www.helvetas.ch/wFrancais/topic_themes/biobaumwolle/info_mali.asp)

	2002	2004	2004	2005	2006	2007
Nombre de producteurs/trices	174	385	561	1'748	3'170	3'847
Pourcentage de femmes (%)	19	34	38	40	40	40
Nombre d'hectares (ha)	118	170	298	740	1'810	2'331
Coton graine (t)	47,2	80,7	169,3	386,	607	798
Rendement moyen (t/ha)	0,400	0,475	0,570	0,522	0,335	0,342
Production de fibres (t)	20	34	68	160	260	335
Certification bio	en conv.	bio	bio	bio	bio	bio
Certification commerce équitable			1ère année	2ème année	3ème année	4ème année

Le *Carapa* fait partie des trois espèces utilisées pour la production d'un insecticide naturel : les huiles de Kobi (*Carapa procera*) mélangées avec le Neem (*Azadirachta indica*) et le Npeku (*Lannea microcarpa*). Ces deux dernières espèces ne posent pas de problèmes d'approvisionnement, elles sont généralement et depuis longtemps plantées tandis que le *Carapa* ne pousse actuellement qu'à l'état naturel. Aujourd'hui cette huile de Kobi est exclusivement importée de Guinée. Mobiom envisage l'achat de 2500 litres pour l'année 2008 pour un prix d'environ 2500 FCFA/litre (soit environ 3.8€/l). Notre objectif est d'aider ces ONG à acheter, dès cette année de l'huile de Kobi produite au Mali, et de promouvoir un cycle de production annuel significatif.

Les enquêtes visaient à évaluer l'importance traditionnelle de l'huile de Kobi au Mali et son potentiel économique dans le secteur du coton biologique afin de réhabiliter l'extraction de l'huile de Kobi dans les zones rurales, et ainsi de promouvoir la participation des populations locales dans le marché du coton. Au-delà de ces retombées économiques locales, l'idée est également de faire participer les résidents à la protection des habitats naturels de *C. procera*.

Les interviews ont révélé que les résidents apprécient les usages traditionnels du Kobi, et en retirent de multiples bénéfices. D'une part, notre approche comprend le renforcement du savoir traditionnel associé aux produits du *Carapa*, et l'utilisation de ce potentiel pour améliorer les revenus des communautés locales. D'autre part, la relation directe entre la survie des populations de *C. procera* et la préservation des forêts galeries et forêts de faille qui les abritent constitue une base adéquate pour une prise de conscience par ces communautés humaines de la nécessité de la préservation des écosystèmes et de la gestion durable des ressources forestières. A partir de là, toute tentative de replantation de *C. procera* dans son habitat naturel doit se faire en respectant les forêts existantes, et non à leurs dépens. Un autre écueil à éviter est la surexploitation des ressources existantes en *C. procera*, comme cela a été fait pour le Karité (*Vitellaria paradoxa*), où l'accroissement inconsidéré de la production d'huile à partir des graines de Karité pour des motifs commerciaux a compromis la régénération dans les populations de l'espèce, du fait du ramassage systématique de toutes les graines produites. Nous insistons donc sur la nécessité de discuter en détails des conditions d'utilisation rationnelle et durable des ressources du Kobi avec les populations concernées.

Statut de l'espèce *Gilletiodendron glandulosum* (Porteres) J. Léonard.

Dans le cadre de nos prospections botaniques nous avons définis plus précisément l'aire de répartition d'une espèce endémique, *Gilletiodendron glandulosum*, présente exclusivement dans l'ouest du Mali dans le triangle formé par les villes de Bafoulabé, Kénieba et Kita. Ces informations associées aux résultats obtenus précédemment par Chris Duvall ont permis d'élaborer en collaboration avec Vicky Crook du Kew Garden 'Seed Conservation Department' les recommandations de conservation et de protection de cette espèce pour l'UICN. "This assessment provides a summary of the most recent information available for the species, mostly focused on work carried out by Duvall and Birnbaum in the 21th century". Cette espèce a été classée comme Vulnérable sous les critères B1ab(iii) et B2 ab(iii). Ce statut sera intégré dans les bases de l'UICN en 2009.

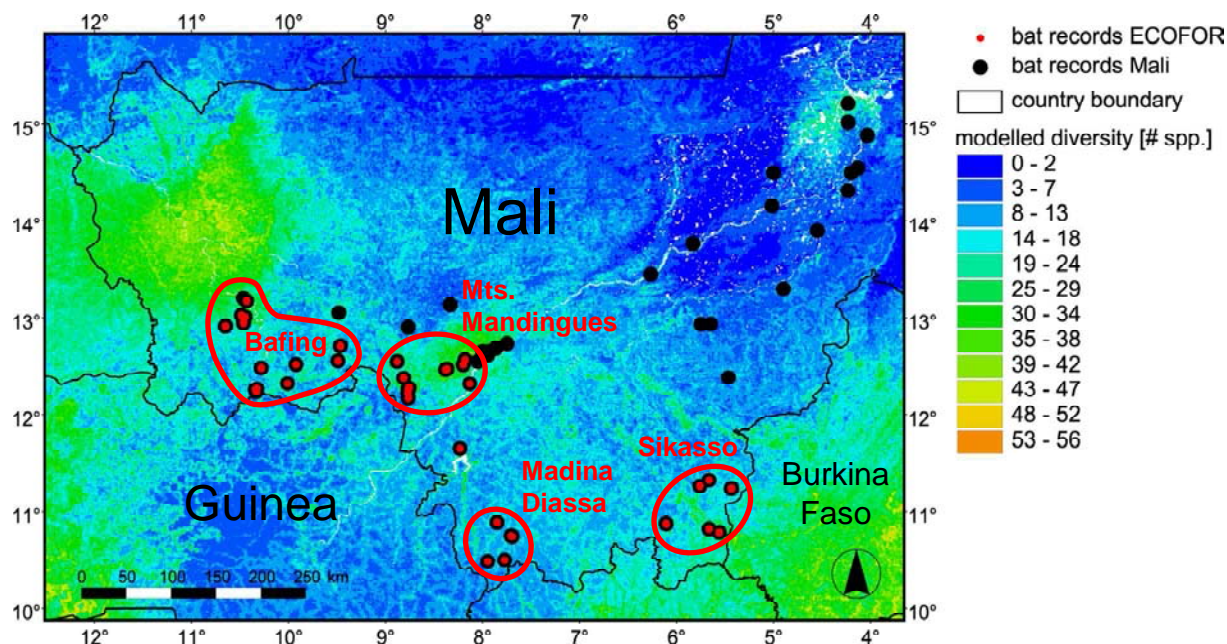
Base de données et collections de rongeurs

Les données « Rongeurs » ont été intégrées à une base de données (BDRSS « Base de Données sur les Rongeurs Sahélo-Soudaniens ») actuellement hébergée sur le serveur du CBGP (UMR 022 IRD, Montpellier) et à disposition des chercheurs du « groupe Rongeurs » de l'Unité. A court terme, une partie des informations de cette base de données devrait être rendue disponible via Internet. Une bonne partie des spécimens correspondant a été par ailleurs préparée en taxidermie à l'IRD Bamako et a été ramenée au CBGP où cette collection (rongeurs en « peaux + crânes ») est également disponible pour étude.

Distribution des chauves-souris en Afrique de l'Ouest

Les données collectées pendant le projet ont été intégrées à une base de données sur la distribution des chauves-souris ouest-africaines, qui inclue les localités d'échantillonnage géo-référencées des 120 espèces connues dans la région. Nous utilisons la modélisation de niche écologique pour prédire la distribution de chaque espèce (Elith et al. 2006, Phillips et al. 2006, Phillips & Dudík 2008) et, au final, les patrons de diversité de l'ensemble du groupe. Cette approche permet l'extrapolation spatiale à partir de données récoltées localement et donc une estimation générale de la richesse spécifique à une échelle nationale à régionale. Un résultat préliminaire est donné dans la figure 30 pour le sud Mali qui souligne les régions de Sikasso et des Mts Mandingues comme des centres de forte diversité des chauves-souris au Mali, et suggère également qu'une vaste zone de l'ouest du Mali, encore peu échantillonnée, pourrait abriter une très forte richesse spécifique. De façon générale, notre étude confirme le grand intérêt des forêts galeries et forêts de failles, ainsi que des régions topographiquement complexes, pour la diversité des chauves-souris au Mali. L'approche spatialement explicite couplée à la modélisation des distributions permet déjà de proposer des aires prioritaires du point de vue de la conservation, grâce à des données essentielles pour les décideurs et intervenants locaux et nationaux, en vue du développement de stratégies à long terme pour l'utilisation durable et la conservation des ressources naturelles.

Figure 30. Données d'occurrence de chauve-souris et modélisation des richesses spécifiques (MaxEnt) au sud Mali, à une résolution de 1km². Les 4 régions d'étude sont encadrées en rouge



DIFFICULTES RENCONTREES ET PERSPECTIVES

A. Difficultés d'ordre général

1. Le démarrage tardif du financement du projet Medd-Ecofor a provoqué des difficultés majeures dans l'organisation des opérations de terrain puisque les deux responsables de ce projet, originellement affectés à Bamako, à l'Ird et au Cirad, sont rentrés en France avant le début des phases d'échantillonnage. Ce décalage a modifié les plans de financement étant donné que les missions initialement prévues au départ de Bamako avec le matériel existant au Mali ont dû être orchestrées au départ de Montpellier. Par ailleurs ce décalage a entraîné le retrait d'un des partenaires, Ute Böetcher (GTZ) qui a quitté le Mali et ses activités en Afrique de l'Ouest avant le début des opérations effectives.
2. Nous avions prévu de travailler sur la flore herbacée de ces îlots forestiers en incluant notamment un spécialiste des plantes de sous-bois. Après une mission effectuée sur le terrain, ce partenaire s'est volontairement retiré de ce projet de recherche ce qui a entraîné l'abandon de cette composante d'étude de la végétation. Cette partie est dorénavant abandonnée de nos objectifs initiaux en raison de la fin de la période d'échantillonnage et de l'absence d'un partenaire spécialiste et disponible.
3. Le point 3 portant sur l'étude des pressions anthropiques, la perception de ces écosystèmes par les différents groupes stratégiques intéressés par la gestion de ces îlots n'a pas été abordé jusqu'à présent par les partenaires impliqués dans ce projet de recherche. Ce point, pourtant fondamental dans la compréhension des phénomènes qui tendent à la conservation ou au contraire à la fragmentation de ces milieux forestiers particuliers, reste donc vierge de résultats ce qui influe également sur les résultats escomptés dans le point 6 : interactions Homme-Animaux. Nous regrettons amèrement la désertion de ces partenaires sans qu'il n'y ait d'explications satisfaisantes. Nous n'avons pas su gérer à temps ce désistement et, pour la deuxième partie de ce projet, nous espérons, à minima, effectuer une synthèse bibliographique sur l'impact de l'homme, au sens large, sur la pérennité de ces îlots forestiers.

B. Difficultés d'ordre technique

Dans le domaine de la télédétection et durant le traitement des images, des zones agricoles (vergers et périmètres irrigués) ont été identifiées avec la signature spectrale de la forêt galerie (figure 31). Ce mélange de cibles dans la signature s'est révélé quel que soit l'indice utilisé. Les plus importantes ont été masquées en amont des traitements. D'autres plus petites ne sont pas décelables par leur forme et par conséquent se trouvent mêlées aux résultats. Toutefois, la période optimum de prise de vue des images en saison de labour (figure 32) permet de limiter cette diffusion dans le résultat. Par ailleurs, parmi les quelques parcelles repérées, on peut constater un éloignement supérieur à cinq cents mètres du bord de la rivière, les éliminant d'emblée des résultats avec la méthode utilisée.

D'autre part, des parties forêt claire semblent avoir les mêmes propriétés spectrales que la forêt galerie. Cette confusion est fortement révélée dans l'étendue de la forêt classée de Farako, où seules des parcelles de plantation forestière existent et sont facilement identifiables. Par contre en dehors de la forêt de Farako, seule la distance à la rivière permet de conclure, sauf dans le cas d'une présence de nappe d'eau souterraine proche de la surface du sol donnant naissance ou pas à une source ; ou bien dans des petites cuvettes d'accumulation d'eau.

Figure 31. Exemples de confusion de la signature de l'indice NDWI entre l'agriculture irriguée, la forêt claire et la forêt galerie sur Farako (1) et les monts Mandingues (2). (A. parcelles agricoles de vergers (1) zone agricole irriguée en périphérie de Bamako (2) ; B. tache de végétation de forêt claire ou zone humide permanente hors des cours d'eau. C. tache de végétation entre les cours d'eau correspondant peut-être à de l'agriculture ou de la végétation naturelle humide)

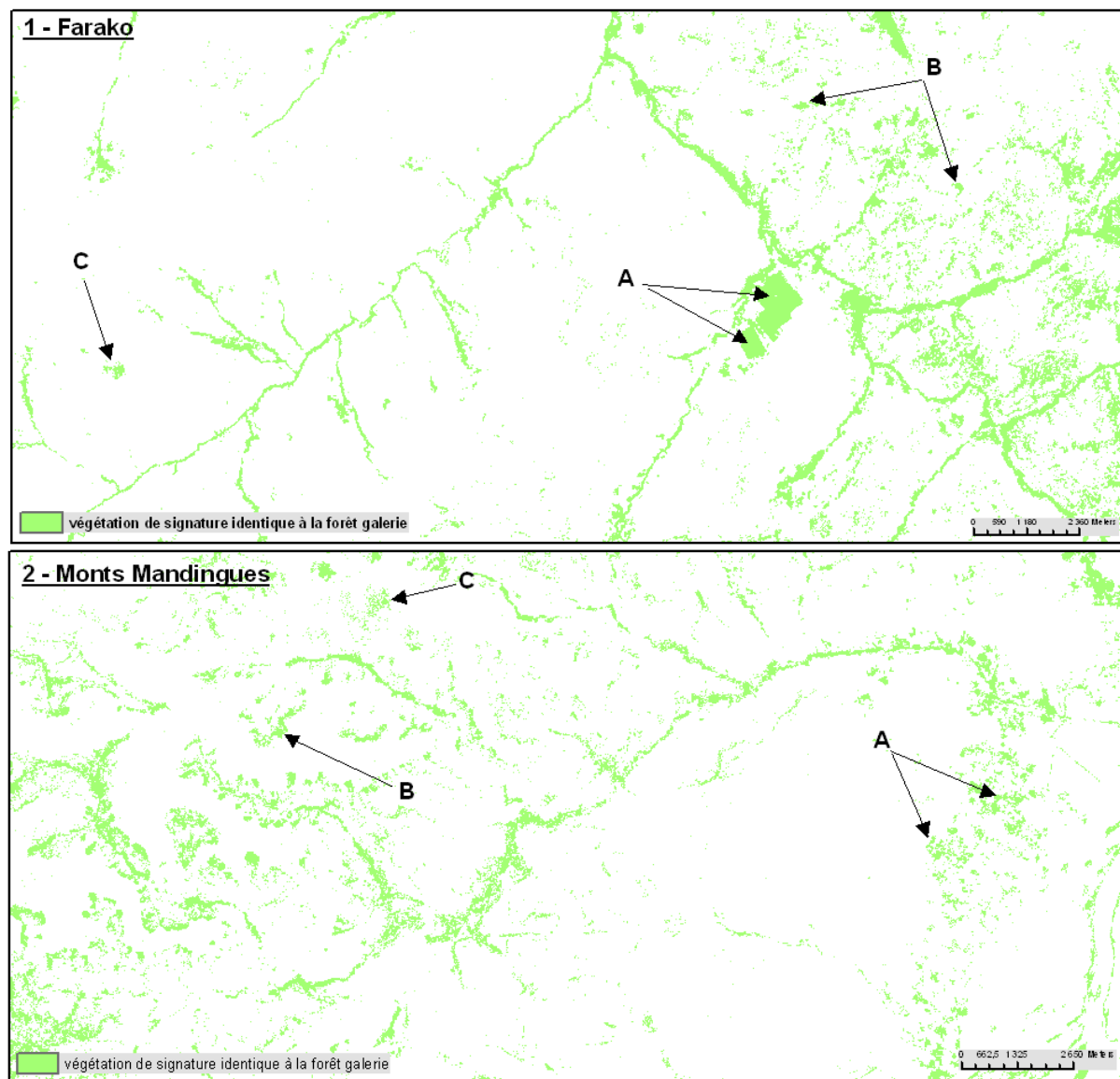
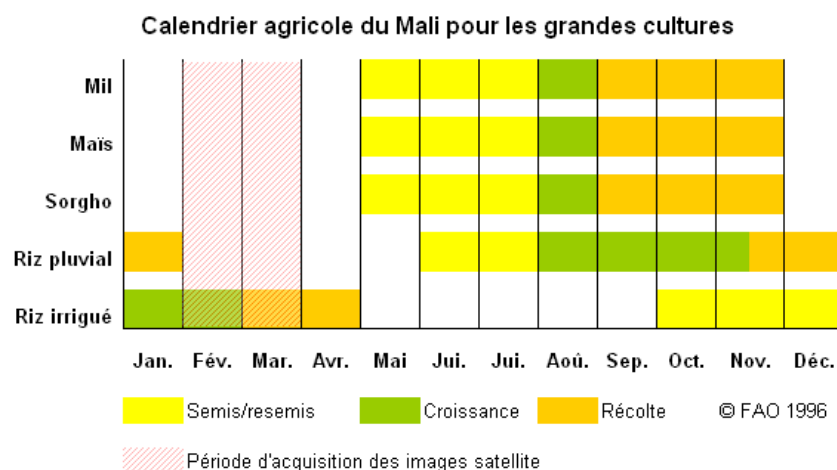


Figure 32. Calendrier agricole des grandes cultures du Mali en 1996 (source F.A.O.)



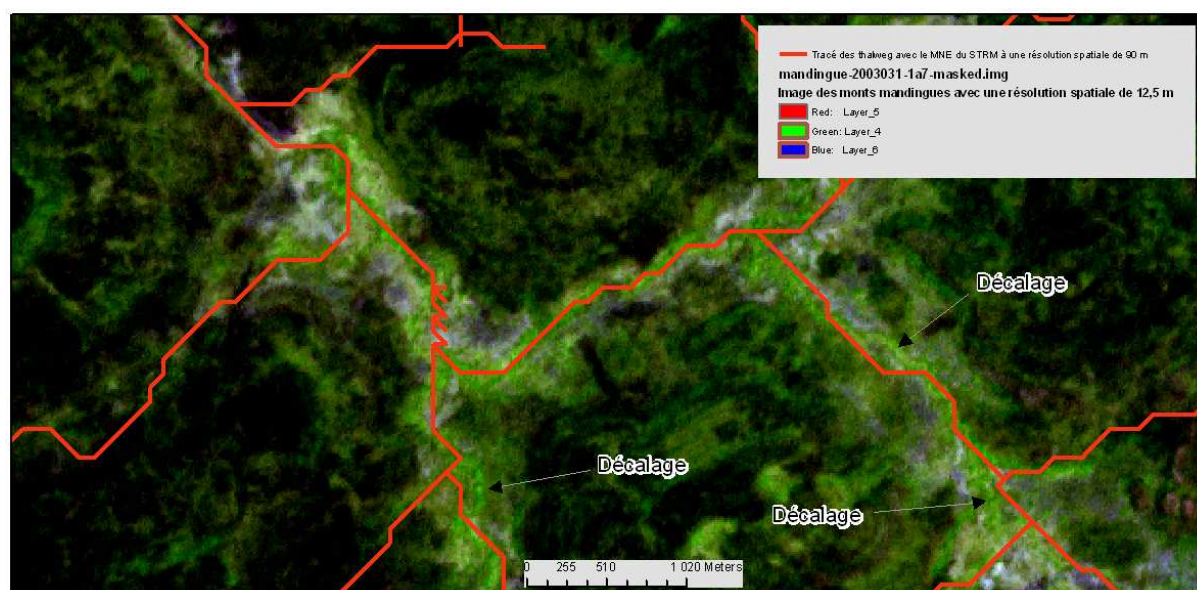
La cartographie des forêts galeries proposée ne permet pas de mettre en évidence les trois types proposés par l'étude du PIRL. Rien pour l'instant ne permet de faire une relation directe

entre la signature spectrale des images satellites Landsat 7 ETM+ de 2003 et la variation spécifique botanique de ce milieu naturel. De la même manière, la différenciation entre la forêt de faille, ou anomalie ou singularité topographique, et la forêt galerie n'est pas accessible avec ce type de donnée ou de méthode pour le moment.

Le traitement d'image par analyse en composante principale (ACP) semble une piste intéressante pour mettre en évidence les limites de la forêt galerie. En effet, on constate une délimitation précise de la galerie soit la composante 2 ou la composante 4. Cette méthode semble efficace sur une petite étendue (cf. figure 5c). Par contre, si toute l'image est analysée, la forêt galerie est largement confondue avec d'autres classes de végétation.

Par ailleurs, lors de la superposition du tracé des thalwegs issue du model numérique d'élévation du SRTM avec une résolution spatiale de 90m, on observe un décalage avec le tracé des cours d'eau défini par image Landsat 7 ETM + avec une résolution spatiale de 12,5m. Ce décalage peut varier jusqu'à 500m (figure 33). Ainsi, la distance maximum des zones tampon pour l'étude est alignée sur la valeur de 500m. Si on se réfère à la précision donnée par la NASA (National American Space Agency) sur les données SRTM, 90 % des données doivent avoir une erreur de géolocalisation de 20m en absolu et de 15m en relatif. A l'échelle du pays et de la région, l'influence de ce décalage est faible sur les résultats. Pour améliorer la situation, il convient de digitaliser le tracé des cours d'eau sur l'image satellite ou la carte topographique ou de réaliser un MNE à partir des informations disponible sur les cartes topographiques.

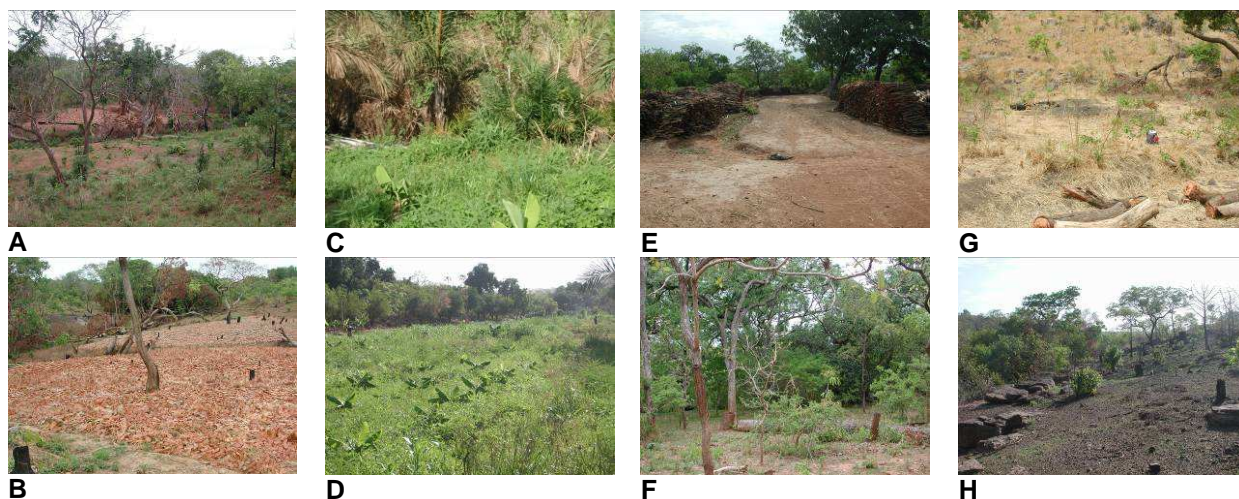
Figure 13. Détail d'un exemple de décalage entre l'image Landsat et le tracé des thalweg issu du MNE du SRTM à une résolution spatiale de 90 m



La taille des taches de forêt galerie en contact avec le tracé des thalwegs peut sembler faible (0,1 à 0,5m). Cette valeur est le résultat de l'algorithme utilisé qui prend uniquement les points communs entre la tache et le tracé. Ainsi une tache importante avec un faible contact avec le tracé peut ressortir avec une longueur de linéaire faible.

Enfin un dernier point important à souligner est le décalage temporel entre la date des prises de vue disponibles (février à mars 2003), la date du déroulement du terrain (2007) et la date de la production de la carte. Dans le cas de l'étude, il faut accepter ce décalage temporel entre l'image et la réalité de l'information extraite et utilisée. Ce décalage a pu être déjà observé lors des validations sur le terrain (2007), où des aménagements agricoles avaient récemment pris la place de forêts galeries (figure 34a et b, Woroni), ou allaient influencer à terme la pérennité du milieu (figure 34c et d, Mandingues), ou alors subissait une pression de prélèvement pour le bois d'œuvre et le bois énergie (figure 34e et f, Farako ; figure 34g et h, Mandingues).

Figure 34. Exemples de pressions anthropiques récentes, décalée temporellement de la prise de vue satellitaire. (A. défrichage des rives du cours d'eau en amont des chutes d'eau de Woroni. B. aménagement de petites parcelles agricoles en amont des chutes de Woroni. C. implantation d'un micro-barrage artisanal en travers du ruisseau, en amont d'une gorge pour irriguer une plantation vivrière. D. plantation vivrière récente de part et part et d'autre du ruisseau, en amont d'un micro-barrage artisanal (C). E. stock de bois énergie dans un village périphérique à la forêt classée de Farako. F. abatage de bois d'œuvre en lisière de forêt galerie, dans la forêt classée de Farako. G. abatage de bois et présence de charbonnières enfouies dans le sol, en lisière et aval de forêt galerie dans les monts Mandingues. H. coupe de bois-énergie et défriche en lisière et amont d'une gorge à forêt galerie dans les monts Mandingues)



Dans le domaine de la génétique de *Praomys rostratus*, quelques problèmes ont été rencontrés lors de l'exploitation des résultats (présence d'allèles nuls à certains locus et conséquences associées), liés au fait que le jeu de locus microsatellites utilisé avait été désigné initialement pour un autre genre de rongeur (*Mastomys*). De ce fait, seuls 9 des 14 locus utilisés ont pu finalement être exploités, ce qui est un peu faible en termes de caractérisation génétique. Toutefois, les résultats obtenus apparaissent relativement robustes et certainement très représentatifs de la réalité à l'échelle géographique considérée. En ce qui concerne la génétique des chauves-souris, les problèmes rencontrés l'ont été en amont, i.e. lors de l'amplification et du séquençage des gènes choisis (cytochrome b et D-loop) sur les taxons-cibles (Hipposideridés en particulier). Une partie de ces problèmes se sont révélés liés à des erreurs rencontrées dans les rares publications traitant de la génétique de cette famille, quant à la description des amorces utilisées, le reste étant associé à des questions de manque de spécificité pour les taxons de notre étude des amorces existantes, ces dernières ayant été désignées pour des espèces ou des genres différents.

1 et 2. Perspectives pour les analyses cartographiques

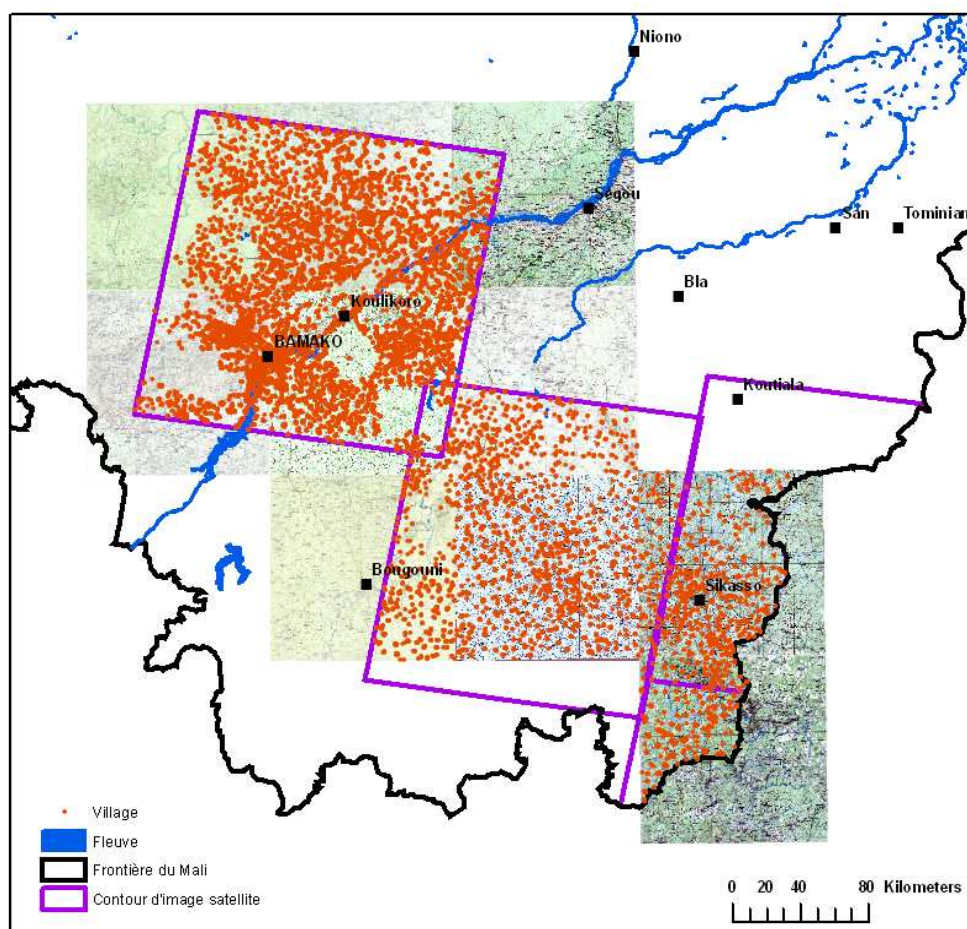
La cartographie des forêts galeries au Mali est aboutie sur les images couvrant les sites de Farako, Woroni, Piama, Siniéna et les Monts Mandingues. Cette analyse est réalisée sur des images Landsat 7 ETM+ de l'année 2003, avec une résolution spatiale de 12,5m. Pour cette cartographie, le tracé des thalwegs a été réalisé à l'aide des données du SRTM. Cette cartographie est produite sous forme d'une couche d'information SIG numérique. De cette analyse, les calculs des superficies des forêts galeries et les linéaires de cours en contact avec de la forêt galerie peuvent être calculés.

Bien que quelques biais existent sur la délimitation des forêts galeries, les valeurs et les cartes peuvent prétendre apporter une information précise à l'échelle nationale et régionale. On peut considérer que cette cartographie vient mettre à jour la classe des forêts galeries, dans sa dimension spatiale uniquement, des cartes produites par le projet PIRL en 1988.

Pour la suite, l'image couvrant le Bafing sera analysée avec la méthode mise en place. Une analyse spatiale sera réalisée sur la distance des habitations humaines par rapport aux fragments de forêt galerie. Enfin, une analyse spatiale sera produite sur les proximités des populations de rongeurs prélevés sur les sites de Piama, Sényéna, Farako et Woroni.

Par ailleurs, la localisation des habitations humaines est réalisée à partir de la digitalisation des cartes topographiques à l'échelle 1:200 000. Sur ces cartes, les habitations sont représentées sous forme de points, certains avec le nom, les autres sans. Un point représente un groupe de cases, sans précision du nombre. Les points ont été digitalisés sur les cartes nommées : Niellé, Sikasso, Massigui, Bougouni, Diola. Bamako-Est, Bamako-Ouest, Ségou, Banamba, Kolokani (figure 35). Cette donnée permettra d'étudier la proximité, sous forme de distance euclidienne, des installations humaines à la forêt humide ; une des variables potentiellement explicatives de l'impact humain sur ces écosystèmes.

Figure 35. Localisation des villages et des cartes topographiques



3. Perspectives pour l'étude des pressions d'origine anthropique

Comme indiqué plus haut dans ce rapport, nous envisageons de réaliser une synthèse bibliographique quant à l'impact des pressions anthropiques sur ces forêts de failles et de galeries forestières en insistant notamment sur les conflits d'usage qui se portent sur ces milieux entre les populations villageoises et urbaines mais également selon l'intérêt porté par chacun. Au préalable, nous devons identifier un partenaire spécialiste de ces questions qui saura se familiariser avec les objectifs et les hypothèses de ce programme de recherche sans bénéficier des missions de terrain, ce qui nous semble d'ores et déjà être un obstacle majeur à la pertinence de ces travaux.

4. Perspectives pour les échantillonnages et étude des communautés

La phase des inventaires de terrain est presque terminée. Nous envisageons une mission supplémentaire à la fin de l'année 2008 ou au début de l'année 2009 dans le Sud du Mali dans et entre les régions du Baoulé et de Sikasso.

4.1 Rongeurs

Nous allons maintenant nous attacher à préciser les déterminants de la composition et de la structure des communautés de rongeurs dans les différentes régions-cibles et les différents types d'habitats rencontrés. Pour cela, nous utiliserons d'une part les données issues des travaux cartographiques et de télédétection, et d'autre part les données de botanique. Nous nous efforcerons également de déterminer les conditions environnementales nécessaires au maintien de populations pérennes de l'espèce de rongeurs associée la plus étroitement aux forêts humides au sud du Mali, à savoir *P. rostratus*.

4.2. Chauves-souris

Pendant la dernière partie du projet, la structure des assemblages d'espèces des 4 régions sera analysée en détail. Nous utiliserons les estimations de richesse spécifique (Brose & Martinez 2004) pour extrapoler les richesses spécifiques au-delà du niveau actuel d'échantillonnage. A travers l'intégration des données de télédétection et de botanique, nous chercherons à identifier les facteurs qui déterminent la richesse spécifique et la composition des assemblages à diverses échelles spatiales. A cette fin, l'approche des partitions additives a montré son utilité (Gering & Crist 2002, Crist et al. 2003, Crist & Veech 2006).

4.3. Botanique

Plusieurs échantillons restent encore à identifier notamment au sein de la famille des Rubiaceae qui domine la flore de ces milieux et de plusieurs taxons non évoqués dans ce rapport qui sont identifiés seulement au genre voire à la famille dans certains cas. A partir de ces identifications exhaustives nous serons en mesure de définir très précisément le nombre d'espèces nouvelles pour le Mali. La deuxième phase de ce projet sera consacrée aux analyses statistiques fines en tenant compte de l'abondance des taxons dans chaque site et de la distribution des types de milieux au sein des 4 régions d'inventaires mais également de la pression d'inventaire réalisée dans chacune des régions. Nous chercherons à préciser la typologie des milieux en étendant la classification actuelle à une gamme plus large de disponibilité hydrique et à une caractérisation plus détaillée de l'encaissement et de la topographie des sites.

5. Perspectives génétique

5.1 *Praomys rostratus*

Le rongeur *Praomys rostratus*, marqueur des forêts les plus humides au Sud Mali, est en limite nord de distribution au Sud du Mali, et n'est présent que dans des fragments forestiers, plus ou moins bien préservés. Les analyses génétiques préliminaires montrent une grande diversité génétique dans les populations ainsi qu'une structure génétique fortement liée à la géographie : un groupe « Est » et un groupe « Ouest » ont été mis en évidence. Les populations dans l'aire étudiées sont fortement différenciées. Des analyses plus poussées sont en cours, sur la différenciation des populations au sein des deux groupes. Jusqu'à présent les tests ont été réalisés entre paires de populations, il reste à tester si certaines sont plus différenciées que les autres, notamment celles des zones les plus isolées.

Dans le cas d'un isolement, une perte de diversité génétique est attendue. Cela a été montré pour le groupe « Ouest » basé sur le seul indice de latitude alors que ça ne semble pas être le cas dans le groupe Est. Nous avons cependant mis en évidence que les populations de l'Est de la distribution semblent être moins diversifiées : cela est-il dû à la situation géographique

(limite de distribution) ou à l'état de perturbation du milieu (fragmentation) ? Les localités de la région de Sikasso (Sud Mali, Est) ont une diversité génétique plus importante que la localité du Burkina Faso, située à la même latitude : cette diversité plus importante est elle liée à plus de contact entre les populations étudiées du fait d'une meilleure préservation des forêts ?

Pour aborder ces différents points des études complémentaires doivent être conduites afin notamment de vérifier si l'on peut mettre en évidence une corrélation entre des caractéristiques génétiques particulières (richesse allélique, présence d'allèles rares) et le degré de dégradation des forêts humides. L'analyse présentée ici se base uniquement sur la latitude des localités, caractère qui ne rend pas compte que l'état réel de dégradation/préservation de chaque forêt échantillonnée. Nous allons employer un indice de préservation du milieu pour chaque localité, en prenant en compte le degré de fragmentation et la qualité de l'habitat (largeur de la forêt galerie, cours d'eau permanent ou non, etc...).

Les différents résultats seront interprétés non seulement en relation avec la fragmentation de la forêt, mais également de l'histoire phylogéographique mise en évidence sur un marqueur mitochondrial (Nicolas et al., soumis) et les fluctuations de la forêt lors des oscillations climatiques du quaternaire, afin de séparer les mécanismes anciens ayant structuré la diversité génétique (phylogéographie), des mécanismes récents (fragmentation de l'habitat, dégradation par utilisation des forêts).

5.3 *Carapa procera*

Actuellement 250 échantillons de *Carapa procera* ont été analysés au niveau des microsatellites. Il reste environ 60 échantillons à traiter, nouvellement récoltés (juin 2008) dans la région du Baoulé. Dans ce rapport ne figure que les résultats intermédiaires sur la structure spatiale des populations et des flux de gènes par des méthodes de génotypages. Au-delà de cette analyse allons secondairement analyser le séquençage afin d'identifier précisément la diversité inter et intra-spécifique en utilisant les séquences Dt et HK et étudier la phylogéographie d'une centaine d'échantillons de *Carapa* provenant du Sénégal, Mali, Cameroun, Burkina Faso, Gabon et Guyane. Si on obtient de la variabilité suffisante au Mali, on pourra faire une analyse plus fine des échantillons maliens et ainsi déterminer les différentes espèces ou sous espèces.

6 et 7. Perspectives interactions Animaux – Plante et valorisation

Maintenant que le principal rongeur forestier a été identifié (*Praomys rostratus*), et l'état de ses populations évalué de façon grossière, nous allons pouvoir engager des études écologiques préliminaires, visant en particulier à évaluer le rôle potentiel de cette espèce dans la consommation, le stockage et la dissémination des graines d'espèces d'arbres caractéristiques des forêts humides reliques du sud Mali. Le site qui semble être le plus favorable à une telle étude est celui de la forêt classée de Farako, dans la région de Sikasso. Sur ce site où la population de *P. rostratus* apparaît atteindre des abondances saisonnièrement importantes, des suivis individuels seront réalisés grâce à la technique du marquage fluorescent, consistant à enduire le ventre et les pattes des animaux de poudres fluorescentes, de les relâcher, puis de suivre leur trace nocturne grâce à une lampe U.V. afin, entre autres choses, de repérer des terriers et autres caches éventuelles de ressources stockées. Les graines et fruits ainsi trouvées pourront être déterminés, les distances de déplacement des animaux déterminées et la relation entre cette espèce a priori majoritairement frugivore et les ressources qu'elle exploite décrite.

VALORISATION DES TRAVAUX

- *Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis pour publication et en préparation*

Nicolas V., Bryja J., Akpatou B., Konecny A., **Lecompte E.**, Colyn M., Lalis A., Couloux A., Denys C. & **Granjon L.** Compared phylogeography of two forest rodent sibling species (*Praomys rostratus* and *P. tullbergi*) in West Africa: a Pleistocene history of divergence. Soumis à *Molecular Ecology*.

- *Participation à des colloques nationaux ou internationaux (communication orale et poster)*

Lecompte E., Konecny A., Bryja J. & **Granjon L.**, 2007. Preliminary study of *Praomys rostratus* (Rodentia: Muridae) population structure in forest fragments from the northern limit of its distribution in West Africa. Communication orale au *10th International African Small Mammal Symposium, Abomey-Calavi, Bénin*

- *Rapports de fin d'étude (mémoires de maîtrise, de DEA, thèses...)*

Chollet S., 2008. Position phylogénétique et phylogéographie comparée de chauves-souris d'Afrique de l'Ouest. Mémoire de Stage de M1, Master Sciences et Technologies, Mention Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement, Spécialité Biodiversité, écologie, évolution, Université Montpellier 2 (Encadrement **J.-F. Cosson** & **L. Granjon**)

- *Actions de transfert, de communication.*

Birnbaum, Ph. – 2007. Mali, un oasis pour la biodiversité. Futura-Sciences.

http://www.futura-sciences.com/fr/comprendre/dossiers/doc/t/developpement-durable/d/mali-un-oasis-pour-la-biodiversite_570/c3/221/p1/

Birnbaum, Ph – 2008. La richesse floristique des forêts maliennes. Amap-Infos.

http://amap.cirad.fr/lettreinfos/2008-lettre_9.pdf

BIBLIOGRAPHIE

- Berhaut, J.** -1967. Flore du Sénégal. 2ème éd.. Clairafrique-Dakar, 485 p.
- Boudet, G. & J.-P. Lebrun** - 1986 - Catalogue des plantes vasculaires du Mali. IEMVT, Maisons-Alfort (France), Etudes et synthèses n°16: 486 pp.
- Brose, U. & N. D. Martinez** - 2004. Estimating the richness of species with variable mobility. *Oikos* **105**(2): 292-300.
- Chollet S.** - 2008. Position phylogénétique et phylogéographie comparée de chauves-souris d'Afrique de l'Ouest. Mémoire de Stage de M1, Master Sciences et Technologies, Mention Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement, Spécialité Biodiversité, écologie, évolution, Université Montpellier 2. 24 p.
- CIRAD** -1988. Projet inventaire des ressources ligneuses au Mali – Carte des formations végétales. Ministère de la coopération de la république française. Ministère chargé des ressources naturelles et d'élevage - Direction Nationale des eaux et Forêts de la république du Mali., SCET-AGRI-CTFT (CIRAD). Bamako. 142 p.
- Crist, T. O. & J. A. Veech** - 2006. Additive partitioning of rarefaction curves and species-area relationships: Unifying α -, β - and γ -diversity with sample size and habitat area. *Ecology Letters* **9**(8): 923-932.
- Crist, T. O., J. A. Veech, J. C. Gering. & K. S. Summerville** - 2003. Partitioning species diversity across landscapes and regions: A hierarchical analysis of α , β , and γ diversity. *Am. Nat.* **162**(6): 734-743.
- Elith, J., C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudík, S. Ferrier, A. Guisan, R. J. Hijmans, F. Huettmann, J. R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L. G. Lohmann, B. A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. M. Overton, A. T. Peterson, S. J. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R. E. Schapire, J. Soberón, S. Williams, M. S. Wisz & N. E. Zimmermann** - 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* **29**(2): 129-151.
- Fu Y.X.** - 1997. Statistical Tests of Neutrality of Mutations Against Population Growth, Hitchhiking and Background Selection. *Genetics*. **147**:915-925.
- Gao. B.C.** - 1996. NDWI a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sens. Environ.* **58**: 257-266.
- Geerling, C.** -1983. Guide de terrain des ligneux sahéliens et soudano-guinéens. 2nd édition. *Agricultural University Wageningen Papers*. **87**(4): 340 p.
- Gering, J. C. & T. O. Crist** - 2002. The alpha-beta-regional relationship: Providing new insights into local-regional patterns of species richness and scale dependence of diversity components. *Ecology Letters* **5**(3): 433-444.
- Hawthorne, W.** - 1990. Field guide to forest trees of Ghana. Natural Resources Institute. Overseas Development Administration. 276p.
- Hawthorne, W. & C. JongKind** - 2006. Woody plants of Western African forests. A guide to the forest trees, shrubs and lianes from Senegal to Ghana. Richmond, Surrey UK: Royal Botanic Gardens, Kew. 1023 pp.
- Hayman, R. W. & J. E. Hill** - 1971. Order Chiroptera, in: *The Mammals of Africa, an Identification Manual*, (eds. Meester, J. & Setzer, H. W.), 1-73. Smithsonian Institution, Washington, D.C.
- Huete A.R., Liu. H.Q., Batchily. K. & W. van Leeuwen** - 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sens. Environ.* **59**: 440-451.
- Hutchinson, J.& J. M., Dalziel** -1954-1958. Flora of West tropical Africa. 2nd edition. 5 volumes. Crown agents for oversea governments and administrations, MillBank, London, s.w.1
- Lebrun, J.-P. & A. L. Stork** - (1991-1997). Enumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale. Publ. hs. Conservatoire et Jardin botanique de Genève (Suisse). Disponible sur internet (<http://www.ville-ge.ch/cjb/bd/africa/index.php>).

- Loiseau, A. , A. Konecny, M. Galan , J. Bryja, J.F. Cosson & C. Brouat** - 2007. New polymorphic microsatellite loci for rodents of the genus *Mastomys* using PCR multiplexing and cross-species amplification in *Myomys* and *Praomys*. *Molecular Ecology Notes* **7**(4) : 684-687.
- Nekola, J. C. & P. S. White** - 1999. The distance decay of similarity in biogeography and ecology. *J. Biogeogr.* **26**(4): 867-878.
- Phillips, S. J. & M. Dudík** - 2008. Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* **31**(2): 161-175.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson & R. E. Schapire** - 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* **190**(3-4): 231-259.
- Plana V.,** - 2004. Mechanisms and tempo of evolution in the African Guineo-Congolian rainforest. *Philosophical Transactions of the Royal Society.* **359**:1585-1594.
- Richardson A.J & C. L. Weigand** - 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrametric Engineering and Remote Sensing.* **vol. 43**: p1541-1552.
- Rosevear, D. R.** - 1965. *The Bats of West Africa*. Trustees of the British Museum (Natural History), London.
- Rouse J. W., R. H. Haas, J. A. Schell & D. W. Deering** - 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium. NASA SP-351 I. 309-317.
- Schneider, P.** - 1996. Sauvegarde et aménagement de la forêt classée de Farako – Région de Sikasso. Mali Sud. Ecole polytechnique fédérale de Zurich. Chaire de sylviculture groupe de foresterie pour le développement. Thèse EPFZ n°11867
- Slatkin M. & R. R. Hudson** -1991. Pairwise comparisons of mitochondrial DNA sequences in stables and exponentially growing populations. *Genetics.* **129**:555-562.
- Soininen, J., R. McDonald & H. Hillebrand** - 2007. The distance decay of similarity in ecological communities. *Ecography* **30**(1): 3-12.
- Tajima F.** - 1989. Statistical method for testing the neutral mutation hypothesis by DNA polymorphism. *Genetics.* **123**:585-595.
- Tucker. C.J.** -1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sens. Environ.* **8**(2): 127-150